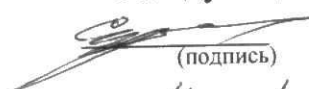


Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
(институт)  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
ПРОИЗВОДСТВА  
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
(подпись)

С.В. Кузьмин  
(инициалы, фамилия)

«14» февр 2018г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

«Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная  
обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной  
работы «Определение напряжения прикосновения на подстанциях  
напряжением 110 кВ и выше»  
(тема)

Пояснительная записка


Руководитель

  
(подпись, дата)

К.Т.Н., доцент  
(должность, ученая степень)

С.В. Кузьмин  
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 14.02.18  
(подпись, дата)

Д.К. Милёхин  
(инициалы, фамилия)

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Определение сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения на подстанций 110кВ и выше» содержит 94 листа пояснительной записки, 7 листов формата А1 графического материала.

**АКТУАЛЬНОСТЬ, РАЗРАБОТКА, МОНТАЖ, НАЛАДКА И АПРОБАЦИЯ СТЕНДА, ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.**

Объектом дипломного проектирования является разработка, монтаж, наладка лабораторного стенда позволяющая определить напряжение прикосновения на подстанции напряжением 110кВ и выше.

Цель работы: разработка стенда и методического обеспечения по определению сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения на подстанций 110кВ и выше. В процессе работы проведены: расчет сопротивления металlosвязи на ОРУ подстанции, сопротивления металlosвязи на ОРУ подстанции с использованием ШУП, определение напряжения прикосновения на ОРУ подстанции, определение напряжения прикосновения с использованием подсыпки, разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда, разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы, выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда, разработка сетевого графика создания стенда для своевременного завершения работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний и получения практических навыков по тематике лекционного материала дисциплины «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	4
Глава 1 Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».....	6
1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» .....	6
1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» .....	11
1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории .....	36
1.4 Вывод по первой главе .....	38
Глава 2 Теоретическое обоснование и моделирование работы стенда в компьютерное среде.....	39
2.1 Общие понятия и основные закономерности напряжения прикосновения ..	39
2.1.2 Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе .....	40
2.1.3 Напряжение прикосновения при групповом заземлителе .....	41
2.1.4 Напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении основания на котором стоит человек .....	46
2.1.5 Метод «амперметра-вольтметра» для определения напряжения прикосновения .....	48
2.1.6 Основные выводы по разделу 2.1 .....	50
2.2 Общие понятия и основные закономерности металlosвязи.....	50
2.2.1 Металlosвязь .....	50
2.2.2 Основные закономерности и метод измерения металlosвязи .....	50
2.2.3 Основные выводы по разделу 2.2 .....	52
2.3 Компьютерное моделирование металlosвязи и напряжения прикосновения .....	53
2.3.1 Результат моделирования сопротивления металlosвязи .....	54
2.3.2 Результаты моделирования с использованием шины уравнивания потенциалов .....	56
2.3.3 Результаты моделирования напряжения прикосновения .....	56
2.3 Выводы по второй главе.....	58
Глава 3 Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда.....	59
3.1 Разработка дизайна и конструкции стенда.....	59

3.2 Выбор рабочего напряжения и автоматического выключателя.....	62
3.3 Разработка принципиальной электрической и монтажной схемы стенда ....	63
3.4 Измерительные приборы и оборудование.....	35
3.4 Аprobация реальной схемы стенда .....	38
3.4.1 Аprobация второй лабораторной работы «Определение напряжения прикосновения» .....	38
3.5 Выводы по третьему разделу .....	40
Глава 4 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Определение напряжения прикосновения на подстанциях 110кВт и выше».....	41
4.1.1 Введение.....	43
4.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории .....	43
4.1.3 Общие указания по оформлению отчетов .....	44
4.1.4 Общие положения .....	45
4.1.5 Термины и определения .....	51
4.1.6 Теоретические основы измерения сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения .....	53
4.1.7 Лабораторная работа.....	58
4.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами.....	62
Глава 5 Выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда .....	65
5.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов.....	65
5.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда.....	65
5.3 Мероприятия по производственной санитарии .....	67
5.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности .....	68
Глава 6 Разработка сетевого графика.....	69
Заключение .....	73
Список используемой литературы .....	74

## ВВЕДЕНИЕ

Широкое использование микропроцессорной техники устройств на подстанции напряжением 110кВ и выше требуется комплексное решение электромагнитной совместимости с оборудованием подстанций и режимами её работ. К работам относятся: нормальный режим эксплуатации и аварийный режим обусловленный КЗ и разряд молнии в молнии приемник в подстанции.

Существенную роль в электромагнитной совместимости играет состояние и эффективность заземляющего устройства. Исходя из этого, электромагнитная совместимость включает в себя 3 основных раздела: диагностика заземляющего устройства, анализ эффективности молнии защиты на подстанции, анализ электромагнитной обстановки.

Диагностика заземляющего устройства решает следующие задачи:

-измерение и анализ сопротивления металlosвязи; определение схемы заземляющего устройства; определение удельного сопротивления грунта; измерения сопротивления заземляющего устройства; определения напряжения на заземляющем устройстве; определения напряжения прикосновения; определение распределением потенциалов установившихся токов КЗ; определение температурной устойчивости заземлителя, и экранов кабеля; определения распределения импульсов напряжения при КЗ на землю и ударов в молниеотвод; протекание токов через ограниченное напряжение; определения коррозионной устойчивости заземляющих проводников и заземлителя. [1]

Опыт эксперимента показывает, что одними из основных факторов заземляющих устройств является сопротивление металlosвязи и напряжения прикосновения.

Качество сопротивления металlosвязи эффективно ограничивает токи в экранах контрольных кабелей и обеспечивает надежное заземления оборудование подстанций, что оказывает положительное влияние на работоспособность микропроцессорных устройств, эксплуатируемых на подстанции.

Напряжение прикосновения обеспечивает безопасную работу персонала в аварийных режимах и тем самым сводят к минимуму человеческий фактор неправильный на работоспособность МПУ.

Целью настоящей дипломной работы является: создание лабораторий по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Разработка, монтаж, наладка и апробация работы стенда по изучению методов измерения сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения, а подстанции напряжением 110кВ и выше. Для решения поставленной цели необходимо рассмотреть следующие задачи:

- выбор помещения для лабораторий;
- разработка системы электроснабжения лаборатории;
- выбор и компоновка лабораторных стендов;

- разработка, монтаж, наладка и апробация работы стенда по изучению методов измерения металлосвязи и напряжения прикосновения;
- разработка методического обеспечения по выполнению лабораторных работ «Измерение сопротивления металлосвязи» и «Измерение напряжения прикосновения»;
- разработка условий и рекомендаций для безопасного выполнения лабораторных работ;
- составление сетевого графика обеспечивающего своевременность выполнения дипломной работы.

# Глава 1 Общие технические и проектные решения по разработке и внедрению лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

## 1.1 Актуальность разработки лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Учебной программой подготовки специалистов по направлению «Электрификация и автоматизация горных работ» предусмотрена дисциплина «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях». Изучение данной дисциплины связано с широким внедрением микропроцессорной техники на ПС. Использование МПУ техники позволяет коренным образом изменить функционирование подстанций. Защиты, выполненные на МПУ становятся универсальными, занимают небольшие пространства, позволяют выполнять резервирование, что приводит к повышению надежности подстанции в целом.

Опыт эксплуатации МПУ на ПС показал, что надежная работа устройств обеспечивается соответствующей электромагнитной обстановкой и электромагнитной совместимостью с режимами работы и оборудованием подстанций. Основные требования для МПУ приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости

№ п / п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5		2000В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
	Порт корпуса				
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах.  На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94  (МЭК 61000-4-8).	5 степень	100А/м(длительно)  1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 степень	3А/м (длительно)	Для мониторов с электроннолучевой трубкой

Продолжение таблицы 1.1

3	<p>Электромагнитные поля радиочастотного диапазона</p> <p>от внешних и внутренних устройств связи.</p> <p>На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям</p>	<p>ГОСТ Р 51317.4.3-99</p> <p>(МЭК 6100-4-3)</p>	<p>Не ниже 3 степени</p>	<p>10В/м</p>	<p>Для всех устройств</p>
4	<p>Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей.</p> <p>На устойчивость к импульсному магнитному полю.</p>	<p>ГОСТ Р 50649-94</p> <p>(МЭК 61000-4-10-93)</p>	<p>Не ниже 4 степени</p>	<p>300А/м</p>	<p>Для устройств чувствительных к магнитным полям</p>
5	<p>Разряды статического электричества с персонала.</p> <p>На устойчивость к разрядам статического электричества</p>	<p>ГОСТ Р 51317.4.2-99</p> <p>(МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96)</p>	<p>Не ниже 3 степени жесткости</p>	<p>6кВ контактный</p> <p>8кВ воздушный</p>	<p>Для всех устройств.</p>
	Сигнальные порты				
6	<p>Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне.</p> <p>На устойчивость к колебательным затухающим помехам.</p>	<p>ГОСТ Р 51317.4.12-99</p> <p>(МЭК 61000-4-12-96)</p>	<p>Локальное</p> <p>Полевое</p> <p>3степень (для однократных)</p> <p>2 степень (для повторяющихся)</p> <p><u>С оборудованием</u></p> <p>4 степень (для однократных)</p> <p>3 степень (для повторяющихся)</p>	<p>-</p> <p>2кВ(провод-земля), 1кВ (провод-провод)</p> <p>1кВ(провод-земля), 0,5кВ (провод-провод)</p> <p>4кВ(провод-земля), 2 кВ (провод-провод)</p> <p>Противофазное</p> <p>2,5кВ(провод-земля), 1 кВ (провод-провод)</p>	<p>Для всех устройств</p>
7	<p>Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии</p>	<p>ГОСТ Р 51317.4.5-99</p> <p>(МЭК61000-4-5-95)</p>	<p>Локальное</p> <p>Провод-земля</p> <p>2 степень</p> <p>Провод-провод</p> <p>1 степень</p> <p>Полевое</p> <p>Провод – земля</p> <p>3 степень</p> <p>Провод-провод</p> <p>2 степень</p> <p>С оборудованием</p> <p>Провод земля</p> <p>4 степень</p> <p>Провод – провод</p> <p>3 степень</p>	<p>1кВ</p> <p>0,5кВ</p> <p>2кВ</p> <p>1кВ</p> <p>4кВ</p> <p>2кВ</p>	<p>Для всех устройств.</p>



# Продолжение таблицы 1.1

8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99  (МЭК 60255-22-4).	Локальное  3 степень  Полевое  4 степень  С оборудованием  Специальная степень жесткости	1кВ  2кВ  4кВ	Для всех устройств
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99  (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех сигнальных портов.
Питание постоянным током					
10	Провалы напряжения  Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29	30%(1с) 60%(0,1с) 100%(0,5с)		Только для входных портов
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 степени	Пульсации не выше 10%	Для всех портов питания постоянного тока
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе от 0 до 150 кГц	ГОСТ Р 51317.4.16-2000 (МЭК 61000-4-16-96)	Не ниже 3 степени	10В (длительно)  100В (1 с)	Для всех портов питания постоянного тока
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод земля  3 степень  Провод-провод  2степень	2кВ  1кВ	Для всех портов питания постоянного тока
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам.	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока
15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе от 150кГц до 80МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96)	3 степень	10В	Для всех портов питания постоянного тока
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных) 3 степень (для повторяющихся)	4кВ (провод-земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1 кВ (провод-провод)	Для всех портов питания постоянного тока
Питание переменным током					
17	Провалы напряжения  Прерывания напряжения	МЭК 61000-4-29	30%(50периодов) 60%(1 период)  100%(5периодов)		Только для входных портов

Продолжение таблицы 1.1

1 8	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями СТО 56947007-29.240.044-2010		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
1 9	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
2 0	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	Для всех портов питания переменного тока
2 1	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4степень (для однократных )  3 степень (для повторяющихся)	4кВ(провод – земля) 2кВ (провод-провод) 2,5кВ (провод-земля), 1кВ (провод-провод)	Для всех портов питания переменного тока
2 2	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4степень	4кВ	Для всех портов питания переменного тока
2 3	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод - земля 4 степень Провод-провод 3 степень	4кВ  2кВ	Для всех портов питания переменного тока.
Порт функционального заземления					
2 4	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 степень	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления
2 5	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 степени	10В	10В=140дБ

Окончание таблицы 1.1

	Помехоэмиссия				
2 6	Радиопомехи оборудования. Помехоэмиссия	от	ГОСТР 51318.22- 99 (СИСПР 22 - 97) ГОСТР 51318.11-99 (СИСПР 11- 97)		

Анализ таблицы 1.1 указывает на то, что применение МПУ допускается после выполнения обследования электромагнитной обстановки на ПС. Комплексное обследование электромагнитной обстановки на ПС выполняется в следующих направлениях:

1. Диагностика заземляющего устройства (ЗУ).
2. Анализ эффективности систем молниезащиты.
3. Устойчивость МПУ к режимам КЗ и ударам молнии.
4. Измерение, расчеты и анализ влияния электромагнитных полей на функционировании МПУ.
5. Изучение влияния импульсных электромагнитных полей и качества электрической энергии на работоспособность МПУ.
6. Влияние качества источников постоянного тока на состояние МПУ.

Методы измерения параметров ЭМО и методика их анализа приведена в СО 34.35.311-2004 «Методические указания по определению электромагнитных обстановки и совместимости на электрических станциях и подстанциях»; СТО 56947007-29.240.044-2010 «Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на объектах электросетевого хозяйства»; СТО 56947007-29.130.15.105-2011 «Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок».

Данные материалы позволяют разработать лабораторию по дисциплине «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на ПС». Наличие данной лаборатории является актуальным, так как позволяет привить навыки и умения студентам по основным направлениям, связанным с изучением ЭМО и ЭМС на подстанциях. Получение знаний и навыков в данной области в дальнейшем позволят студентам получить комплексные знания по специализации электрификация и автоматизация горных работ, что положительно отразится на их профессиональной деятельности.

## 1.2 Описание лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

Лаборатория по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях» расположена на 3 этаже учебного корпуса института горного дела геологии и геотехнологий СФУ в аудитории 307. Общая площадь лаборатории составляет 48,9м<sup>2</sup>. Внешний вид помещения до расположения оборудования и стендов лаборатории показан на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 – Внешний вид аудитории 307 до создания лаборатории

Для проведения лабораторных работ по курсу ЭМО и ЭМС были разработаны следующие стенды:

1. «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»

2. «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»

3. «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»

4. «Определение металлосвязи и напряжения прикосновения»

5. «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

6. «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Внешний вид лицевых панелей перечисленных стендов показан на рисунках 1.2 - 1.7.

Внешний вид лаборатории с установленными стендами показан на рисунках 1.8 - 1.9.

Стенд №1 . «Оценка качества электропитания источника постоянного тока».

Позволяет оценить основные показатели качества источника постоянного тока, к которым относятся: отклонение напряжения, размах и пульсация выпрямленного напряжения. Данный стенд наглядно показывает, как влияет схема источника постоянного тока на качество электропитания. Кроме того данный стенд демонстрирует как изменяется качество электропитания источника постоянного тока при использовании LC фильтров и аккумуляторных батарей. С помощью стенда, можно проследить, какие изменения происходят в выпрямленном напряжении в случае выхода из строя силовых диодов. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы.



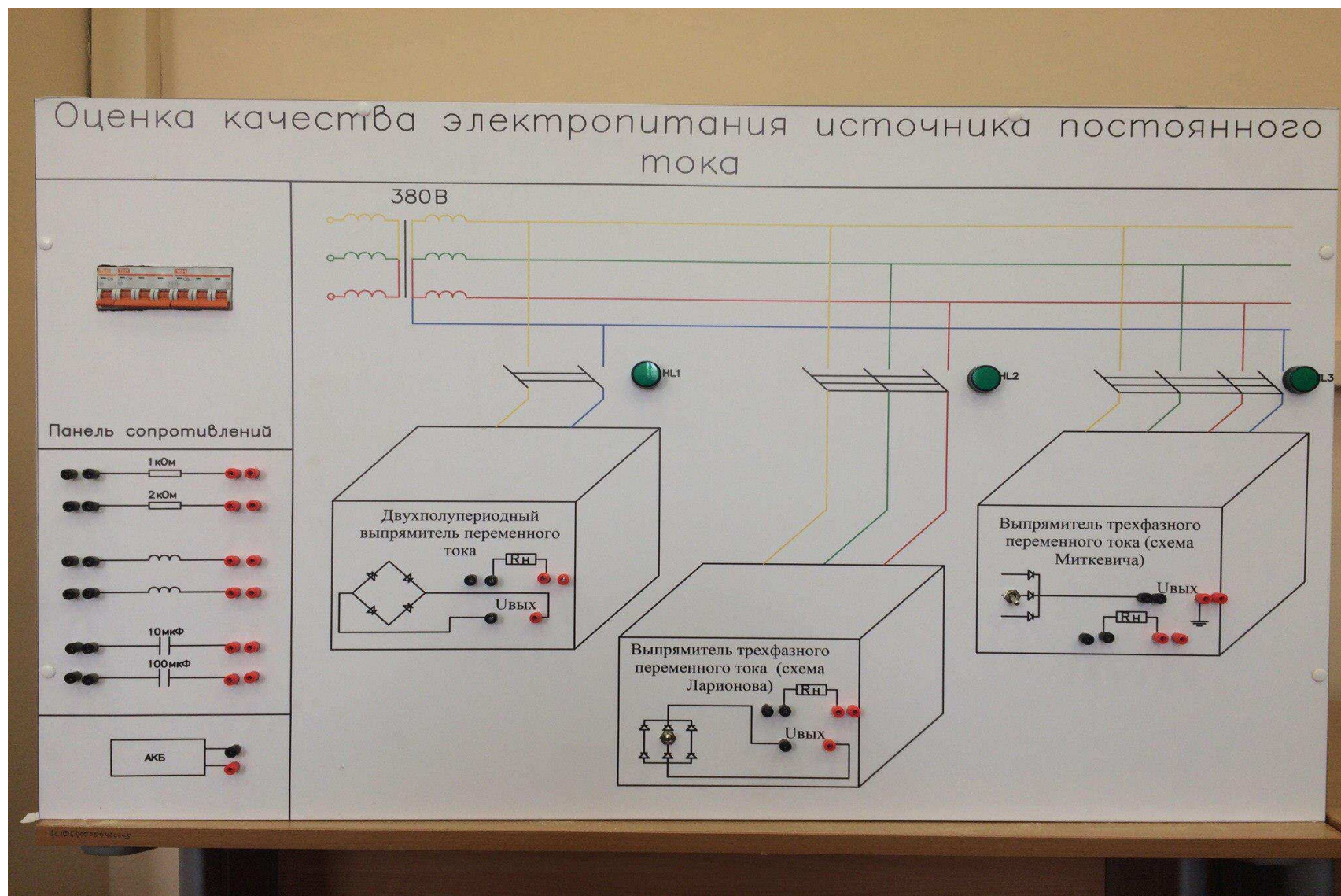


Рисунок 1.2 – Лицевая панель стенда «Оценка качества электропитания источника постоянного тока»



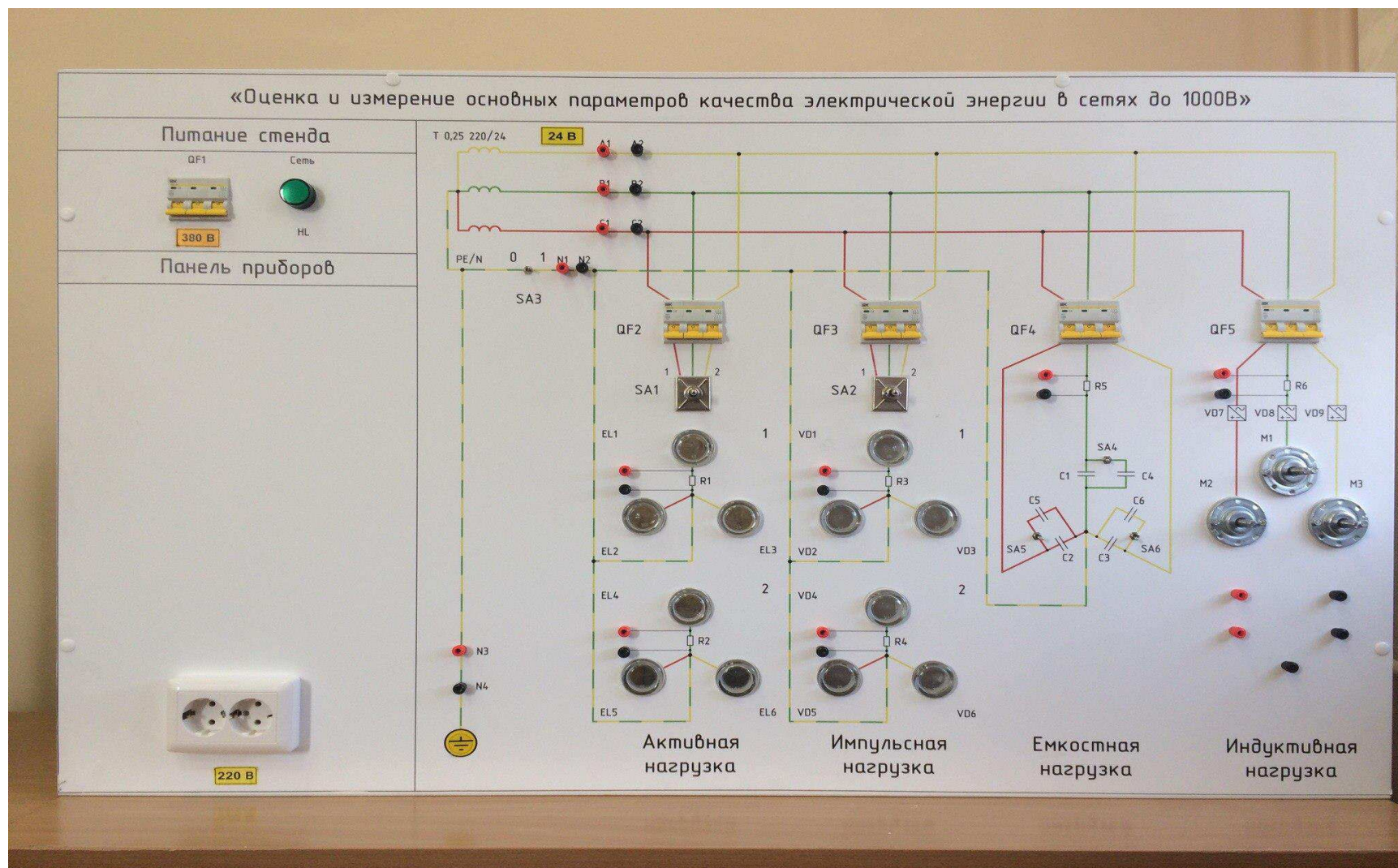


Рисунок 1.3 – Лицевая панель стенда «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»



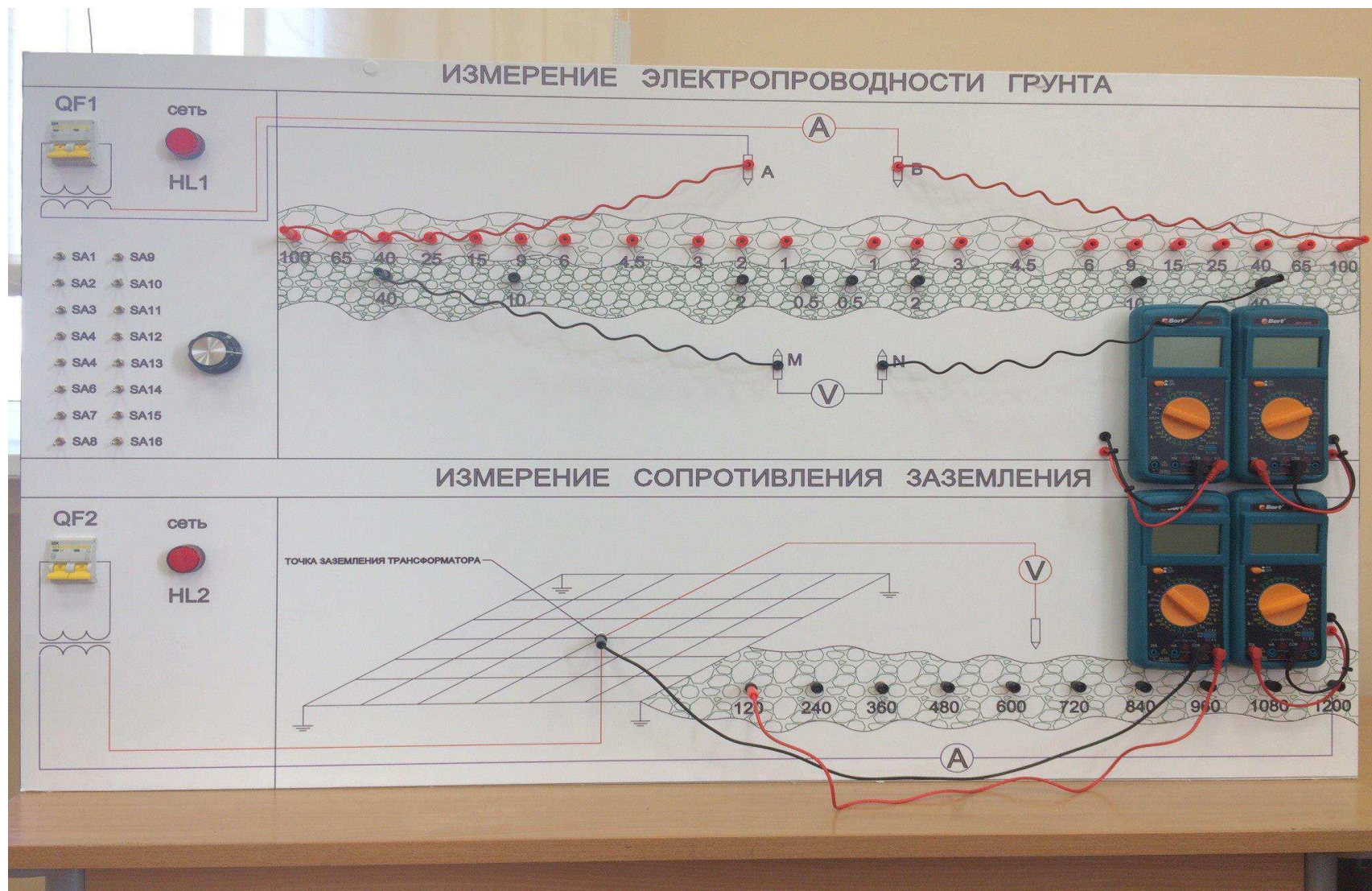


Рисунок 1.4 – Лицевая панель стенда «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»





Рисунок 1.5 – Лицевая панель стенда «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»



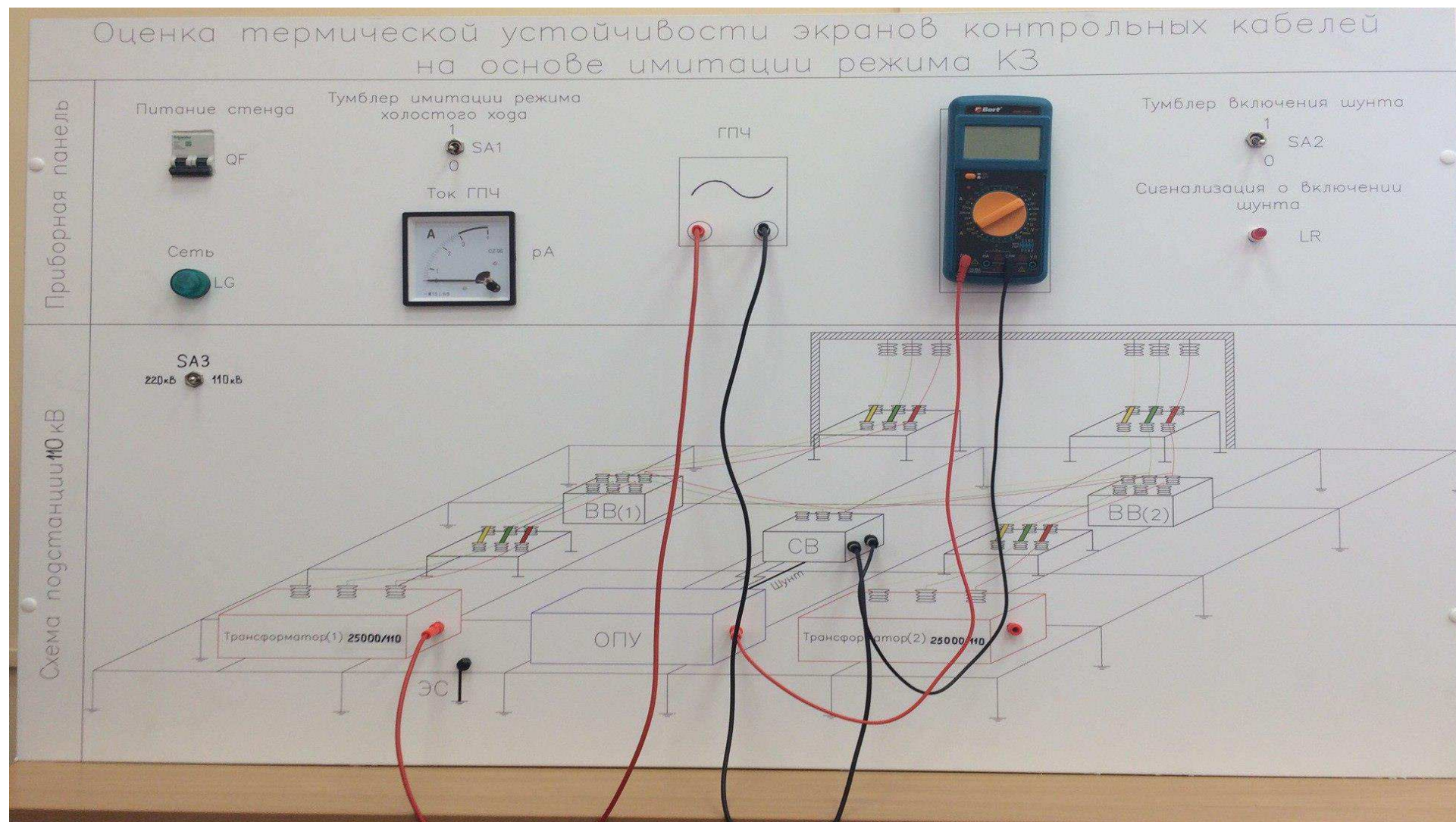


Рисунок 1.6 – Лицевая панель стенда «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»



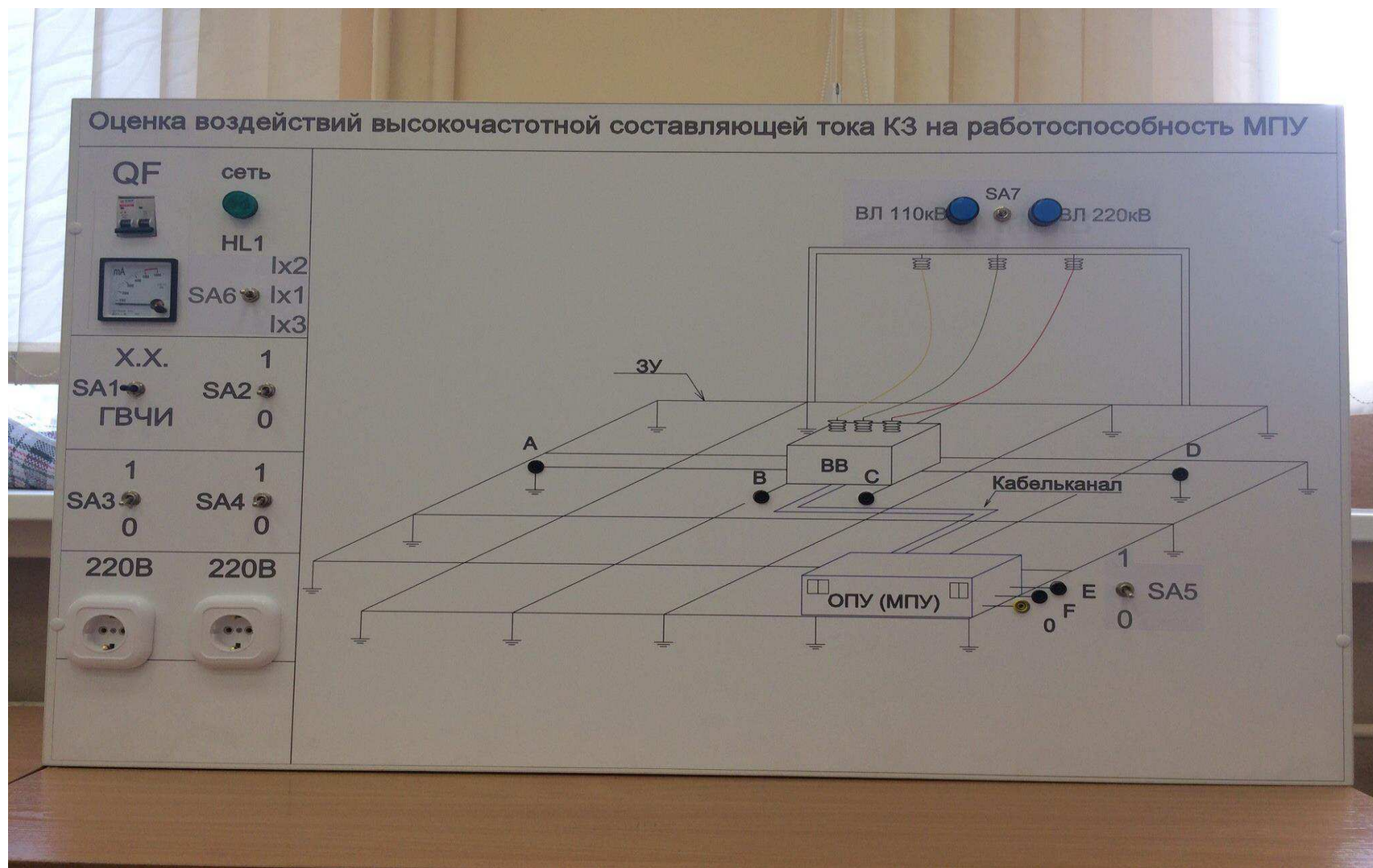


Рисунок 1.7 – Лицевая панель стенда «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»





Рисунок 1.8 – Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.





Рисунок 1.9 - Внешний вид лаборатории по изучению электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости на подстанциях.

Стенд №2 «Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В».

Данный стенд позволяет оценить основные параметры качества электрической энергии в сетях переменного тока до 1000В. К таким показателям относятся: отклонение напряжения, отклонение частоты, несимметрия напряжения, несинусоидальность напряжения и тока, спектральный состав напряжения и тока, фликер. Стенд позволяет измерять и анализировать показатели качества в сетях изолированной и глухозаземленной режимами нейтралей. С помощью стенда можно имитировать как линейную, так и не линейную нагрузку. В роли линейной нагрузки выступают лампы накаливания и конденсаторы. В качестве нелинейной нагрузки используются электродвигатели и светодиодное освещение. Кроме этого использование светодиодов позволяет установить влияние импульсной нагрузки на показатели качества электрической энергии. Наличие электроприемников, имеющих различные параметры, позволяет в комплексе оценить их влияние на показатели качества электроэнергии, например параллельная работа электродвигателей с системами освещения выполненными на лампах накаливания или светодиодных лампах, влияние конденсаторных установок на токи электродвигателя и т.д. Таким образом, данный стенд в достаточной мере отражает влияние нагрузки на показатели качества электроэнергии. Методическое обеспечение данного стенда включает 8 вариантов выполнения работы.

Стенд №3 «Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления».

Данный стенд позволяет изучить методы по измерению электропроводности грунтов и заземляющих устройств подстанций и привить соответствующие навыки студентам. В основу измерения электропроводности грунтов положен метод вертикального электрического зондирования, так как данный метод нашел широкое применение на практике. Измерение сопротивления заземления ПС производится по методу амперметра – вольтметра. Указанные методы измерений электропроводности грунтов и заземления рекомендованы СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Кроме этого, полученные данные по электропроводности грунта на ПС позволяют определить сопротивление ЗУ расчетным путем и сравнить результаты с измеренными данными. Таким образом, работа на данном стенде позволит студентам получить навыки по использованию расчетных и инструментальных методов по определению сопротивления заземления, а также рассчитать напряжение на ЗУ в режиме КЗ. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №4 «Определение металлосвязи и напряжения прикосновения».

Данный стенд позволяет изучить метод амперметра-вольтметра при определении сопротивления металлосвязи и напряжения прикосновения.

Кроме этого данный стенд наглядно демонстрирует работу шины уравнивания потенциалов для снижения сопротивления металлосвязи и подсыпки из щебня в рабочих зонах на ПС для снижения напряжения прикосновения. Методическое обеспечение данного стенда включает 10 вариантов выполнения работы.

Стенд №5 «Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»

Данный стенд позволяет изучить влияние режимов КЗ на функционирование МПУ, связанных с надежностью контрольных кабелей. Одной из основных причин выхода из строя контрольного кабеля является протекание токов по экранам контрольного кабеля, которые способны привести к термическому разрушению кабеля. Стенд позволяет изучить метод имитации режима КЗ для оценки токов в экране контрольного кабеля в случае возникновения однофазного КЗ на подстанции. Кроме этого стенд демонстрирует эффективность использования ШУП для снижения токов в экранах контрольных кабелей. Методическое обеспечение данного стенда включает 30 вариантов выполнения работы - 15 вариантов при имитации ПС110кВ и 15 вариантов при имитации ПС 220кВ.

Стенд №6 «Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»

Данный стенд изучает влияние переходных процессов в момент возникновения КЗ на ОРУ подстанций. Основным негативным фактором, влияющим на работоспособность МПУ в первый момент времени при возникновении КЗ, являются высокочастотные составляющие тока КЗ, которые через емкостные связи могут привести к термическому разрушению МПУ или к срыву их функционирования. Стенд позволяет изучить методы по определению импульсного сопротивления оборудования, синфазных и противофазных помех поступающих на вход МПУ и оценить опасность данных помех для функционирования МПУ. Методическое обеспечение данного стенда включает 6 вариантов выполнения работы - 3 варианта при имитации ПС110кВ и 3 варианта при имитации ПС 220кВ.

Таким образом, стенд №1 и стенд №2 позволяют приобрести навыки по изучению показателей качества источников постоянного и переменного тока. Стенд №3 и №4 позволяют получить теоретические знания и практические навыки, связанные с диагностикой заземляющих устройств. Стенд №5 и №6 дают практические навыки и знания студентам по оценке негативного влияния режимов КЗ на МПУ

На рисунке 1.10 приведен план расположения оборудования в лаборатории по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

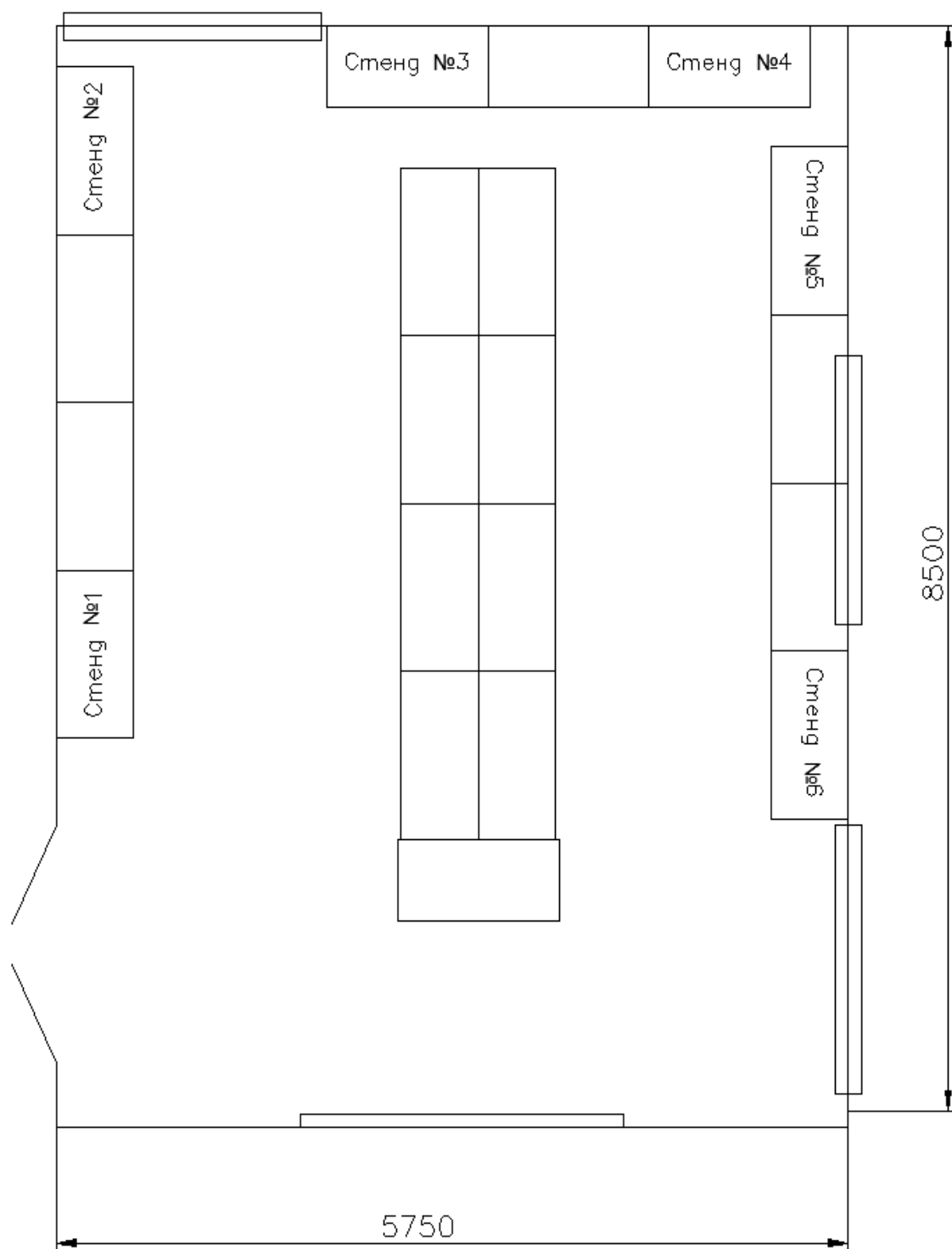


Рисунок 1.10 – План расположения оборудования в лаборатории



### 1.3 Схема электроснабжения и приборный парк лаборатории

Для питания стендов используется трехфазный переменный ток. Схема электроснабжения приведена на рисунке 1.11.

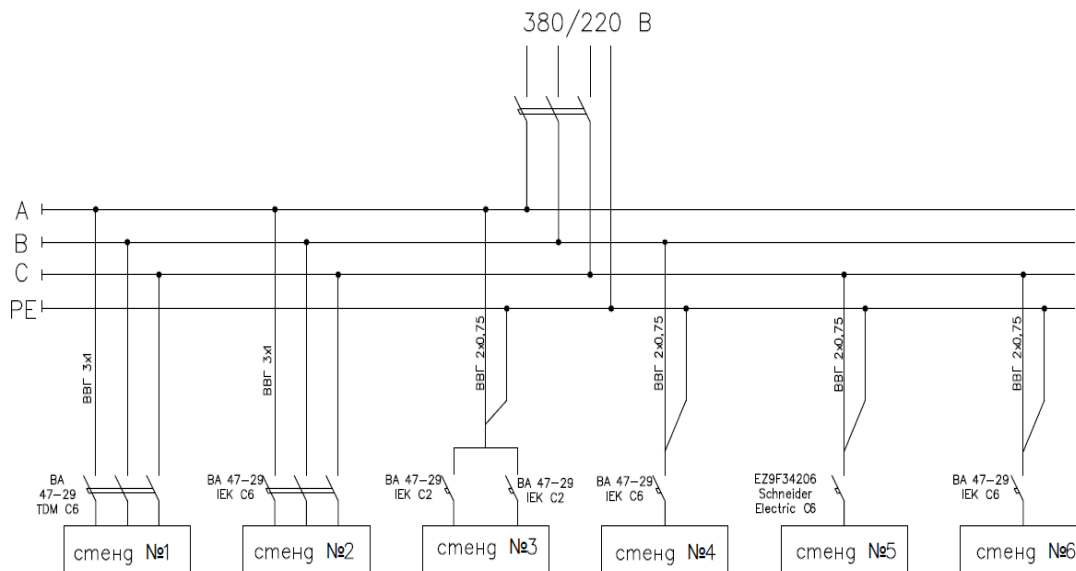


Рисунок 1.11 - Схема электроснабжения лаборатории

В качестве защитных аппаратов используются автоматические выключатели. Перечень применяемых вводных автоматических выключателей по стендам приведен в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Перечень автоматических выключателей

Стенд	Марка и характеристики автоматического выключателя	Количество
«Оценка качества электропитания источника постоянного тока»	ВА 47-29 TDM C6 3р	1
Оценка и измерение основных параметров качества электрической энергии в сетях до 1000В»	ВА 47-29 IEK C6 3р	1
«Измерение электропроводности грунта», «Измерение сопротивления заземления»	ВА 47-29 IEK C2 2р	2
«Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»	ВА 47-29 IEK C6 2р	1
«Оценка термической устойчивости экранов контрольных кабелей на основе имитации режима КЗ»	EZ9F34206 Schneider Electric C6 2р	1
«Оценка воздействий высокочастотной составляющей тока КЗ на работоспособность МПУ»	ВА 47-29 IEK C6 2р	1

Стенд № 1 получает питание от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ТДМ С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1

Стенд №2 также запитывается от трехфазной сети переменного тока 380В. Питание на стенд поступает через трехполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 3х1.

Стенд № 3 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. На данном стенде выполняются 2 лабораторные работы и на каждую работу установлен отдельный двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С2. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 4 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд № 5 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель EZ9F34206 Schneider Electric С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

Стенд №6 запитан фазным напряжением 220В трехфазной системы переменного тока. Питание на стенд подается через двухполюсной автоматический выключатель ВА 47-29 ИЕК С6, который служит для защиты от перегрузок и КЗ. Подключение выполнено проводом марки ВВГ 2х0,75.

На стендах по изучению «Электромагнитной обстановки и электромагнитной совместимости» используются различные приборы. Приборный парк лаборатории представлен в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Приборный парк лаборатории

Наименование прибора	Марка (модель), характеристики	Количество
Амперметр переменного тока	CZ-96, 0...3А	1
Аналоговый амперметр переменного тока	CG -72, 0...500мА	1
Осциллограф	Fluke 196C	1
Мультиметр	Bort BMM-1000N	5
Мультиметр	Best DT-9205M	2
Мультиметр	Mastech MS8268	1
Двухканальный генератор сигналов прямого цифрового синтеза	MHS-5200P 25	1
Анализатор реинструктор качества электрической энергии с функцией измерения фликера	REN-700	1

## 1.4 Вывод по первой главе

На основании вышеизложенного материала можно сделать следующие основные выводы:

1. Разработанные стенды позволяют оценить основные параметры электромагнитных обстановки и совместимости на подстанциях, соответствующие требованиям нормативных документов Федеральной сетевой компании единой энергетической службы (ФСК ЕЭС) России.

2. Использование современных измерительных приборов позволяет научить студентов их применению в реальных условиях эксплуатации оборудования на ПС.

Вывод по первой главе: лабораторный стенд по измерению методов измерения сопротивления метало связи и напряжения прикосновения на подстанциях 110кВт и выше. Позволяет выполнить две лабораторных работы:

1-измерения сопротивления метало связи.

2-оценка распределения потенциалов по заземляющему устройству в режиме КЗ и напряжения прикосновения.

Разработка лабораторного стенда производилась в три этапа: На первом этапе выполняется виртуальное моделирование стенда(теоретическая разработка стенда). На втором этапе осуществлялась сборка монтаж наладка и обработка стенда. На третьем этапе разработка методических обеспечений по выполнению лабораторной работы.

## Глава 2 Теоретическое обоснование и моделирование работы стенда в компьютерной среде.

### 2.1 Общие понятия и основные закономерности напряжения прикосновения

#### 2.1.1 Напряжение прикосновения

Напряжение прикосновения  $U_{пр}$  называется напряжением между двумя точками цепи тока, которые одновременно касаются человека, или, иначе говоря, падение напряжения на сопротивлении тела человека,

$$U_{пр} = I_h R_h , \quad (2.1)$$

где  $I_h$  – ток, проходящий через человека по пути рука-нога, А;  $R_h$  – сопротивление тела человека, Ом.

В области защитных заземлений, занулений и т.п. одна из этих точек имеет потенциал заземления  $\varphi_з$ , а другая – потенциал основания в том месте, где стоит человек,  $\varphi_{осн}$ . В этом случае напряжения прикосновения будет равно

$$U_{пр} = \varphi_з - \varphi_{осн} , \quad (2.2)$$

или

$$U_{пр} = \varphi_з \alpha_1 ,$$

где  $\alpha_1$  – коэффициент, называемый коэффициентом напряжения прикосновения или просто коэффициентом прикосновения, учитывающий форму потенциальной кривой:

$$\alpha_1 = \left(1 - \frac{\varphi_{осн}}{\varphi_з}\right) \leq 1 , \quad (2.3)$$

### 2.1.2 Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе

Пусть мы имеем оборудование, например выключатели, корпуса которых заземлены с помощью одиночного заземлителя(электрода) (рис 2.1). При замыкании на корпус одного из этих выключателей на заземлителе и всех присоединенных к нему металлических частях, в том числе на корпусах выключателя, появится потенциал  $\varphi_3$ . Поверхность земли вокруг заземлителя также будет иметь потенциал, изменяющийся по кривой, зависящей от формы и размеров заземлителя(электрода).

Напряжение прикосновения для человека, касающегося заземленного корпуса выключателя стоящего на земле (см. случай на рисунке 2.1) определяется отрезком АВ и зависит от формы потенциальной кривой и расстояния  $\chi$  между человеком и заземлителем: чем дальше от заземлителя находится человек, тем больше  $U_{пр}$  и наоборот.

Так при наибольшем расстоянии, т.е при  $\chi=\infty$ , а практически при  $\chi \geq 20\text{м}$  (случай 2 на рис. 2.1) напряжение прикосновения имеет наибольшее значение:  $U_{пр}=\varphi_3$ ; при этом  $\alpha_1=1$ .

Это – наиболее опасный случай прикосновения.

При наименьшем значении  $\chi$ , т.е когда человек стоит непосредственно на заземлителе (случай 3 на рис. 2.1),  $U_{пр}=0$  и  $\alpha_1=0$ .

Это – безопасный случай: человек не подвергается воздействию напряжения, хотя он и находится под воздействием потенциала  $\varphi_3$ .

При других значениях  $\chi$  в пределах от 0-20м (случай 1)  $U_{пр}$  плавно возрастет от 0 до  $\varphi_3$ , а  $\alpha_1$  – от 0 до 1. В практике устройства защитных заземлений интерес представляют максимальные значения напряжений прикосновения.

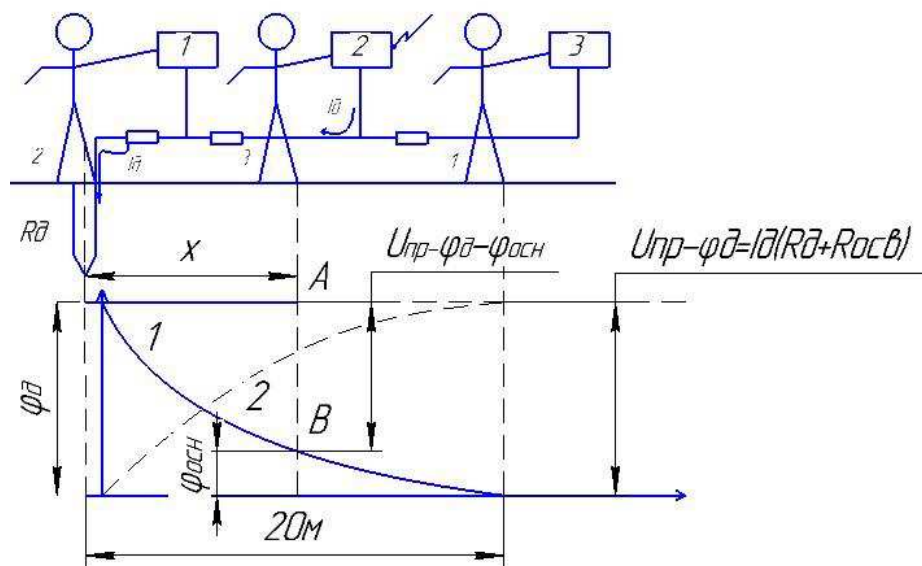


Рисунок 2.1 – Напряжение прикосновения при одиночном заземлителе.

### 2.1.3 Напряжение прикосновения при групповом заземлителе

Известно, что если поля растекания токов электродов группового заземлителя накладываются одно на другое, то все точки поверхности земли на участке между электродами имеют потенциалы, отличные от нуля. Поэтому в любом месте этого участка  $U_{пр} < \varphi_3$  и  $\alpha_1 < 1$ .

Как и в случае одиночного заземлителя,  $U_{пр}=0$  и  $\alpha_1=0$  тогда, человек, касаясь заземленного предмета, стоит непосредственно на электроде, входящем в состав группового заземлителя.

Наибольшие значения  $U_{пр}$  и  $\alpha_1$  будут иметь на определенном расстоянии от электродов, зависящем от их формы и взаимного расположения.

Рассмотрим эти вопросы применительно к заземлителю, состоящему из двух одинаковых полусферических электродов радиусом  $r$ , м, с расстоянием между ними,  $s$ , м (рис. 2.2)

Уравнение потенциальной кривой такого заземлителя, выраженное через  $\varphi_{гр}$  можно написать

$$\varphi_{осн} = \varphi_{гр} \frac{r(s-r)}{x(s-x)} \quad (2.4)$$

Тогда

$$U_{пр} = \varphi_{гр} - \varphi_{осн} = \varphi_{гр} \left[ 1 - \frac{r(s-r)}{x(s-x)} \right] \quad (2.5)$$

$$\alpha_1 = 1 - \frac{r(s-r)}{x(s-x)} \quad (2.6)$$

Как видно из этих выражений,  $U_{пр}$  и  $\alpha_1$  будут иметь наименьшее значения в двух случаях – при наименьшем и наибольшем значениях  $x$ , а именно  $x=r$  и  $x=(s-r)$ , т.е. когда человек стоит на одном из электродов. В этом случае  $U_{пр}=0$  и  $\alpha_1=0$ .

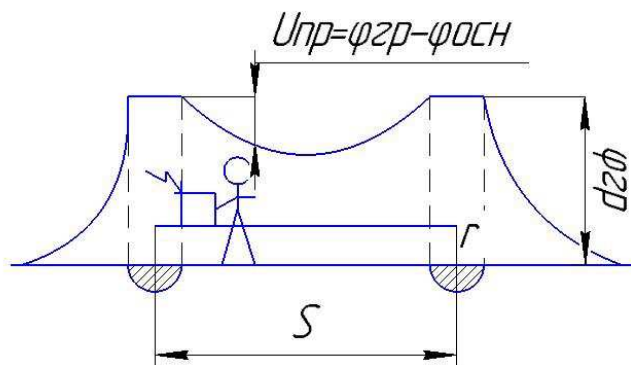


Рисунок 2.2 – Напряжение прикосновения при групповом заземлителе

Наибольшее значение  $U_{\text{пр}}$  и  $\alpha_1$  будут при  $\chi=0.5s$ , когда человек стоит точно посередине между электродами.

$$U_{\text{пр},\text{max}} = \varphi_{\text{гр}} \left( 1 - 4r \frac{s-r}{s^2} \right); \quad (2.7)$$

$$\alpha_{1\text{max}} = 1 - 4r \frac{s-r}{s^2} \quad (2.8)$$

Например, при  $s=20r$  получим  $U_{\text{пр},\text{max}} = 0,89\varphi_{\text{гр}}$ , а  $\alpha_1 = 0,89$ .

Если электроды не шаровые, а другой формы, то вычисление  $U_{\text{пр}}$  и  $\alpha_1$  оказывается более сложным, а при большом числе электродов – практически невозможным.

При проектировании защитных заземлений требуется знать наибольшее в данной конструкции заземлителя значение напряжения прикосновения. Для этой цели пользуются максимальными значениями  $\alpha_1$ , полученными опытным путем и приведенными в таблице 2.1 [2].

При уменьшении  $s$ , т.е. при более частном расположении электродов,  $U_{\text{пр}}$  и  $\alpha_1$  снижаются – происходит выравнивание потенциалов на поверхности земли.

В пределах площади, на которой размещены электроды группового заземления,  $U_{\text{пр},\text{max}}$  и  $\alpha_{1\text{max}}$  наблюдается, как правило, в точках, наиболее удаленных от электродов. Например, при размещении электродов по вершинам или сторонам правильного многоугольника  $U_{\text{пр},\text{max}}$  и  $\alpha_{1\text{max}}$  оказываются в центре этих фигур (рис.2.3). Если электроды образуют сетку, состоящую из квадратных или прямоугольных клеток, то внутри в каждой такой клетке наибольшее значение  $U_{\text{пр}}$  и  $\alpha_1$  будет точно в центре нее, причем в углах клетках  $U_{\text{пр},\text{max}}$  и  $\alpha_{1\text{max}}$  будут больше, чем в других (рис 2.4) .

Таблица 2.1 Наибольшее значение коэффициентов прикосновения  $\alpha_1$  и шага  $\beta_1$

Тип заземлителя	Число внутренних полос	Расстояние между параллельными полосами, м	$\alpha_1$	$\beta_1$
Одиночный горизонтальный: $t_0 \approx 0,5\text{м}$	-	-	1	0,3
Групповой – вертикальные стержневые электроды расположены в ряд и соединены полосой: $t_0 \approx 0,8\text{м}$	-	-	1	0,6
Групповой контурный из полос с внутренними полосами: $t_0 \approx 0,5\text{м}$	2	2,5	0,3	0,15
		5	0,35	
		10	0,4	
		15	0,45	
	5	2,5	0,15	
		5	0,2	
		10	0,3	
		15	0,35	
	10	2,5	0,1	
		5	0,15	
		10	0,25	
		15	0,3	
Групповой контурный из стержней и полос с внутренними параллельными полосами: $t_0 \approx 0,5\text{м}$	5	2,5	0,1	0,15
		5	0,15	
		10	0,25	
		15	0,35	
	10	2,5	0,08	
		5	0,1	
		10	0,2	
		15	0,25	
Групповой контурный из стержней и полос (вокруг здания, сооружения): $t_0 \approx 0,5\text{м}$	-	Da=b a=2b a=3b	0,4	0,3
			0,35	0,25
			0,3	0,2



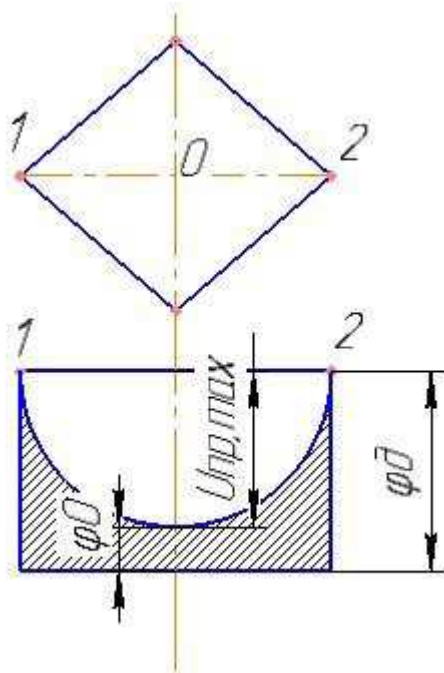


Рисунок 2.3 – потенциальная кривая внутри контура группового заземления с вертикальными электродами, размещенными по вершинам правильного многоугольника и соединенными горизонтальными электродами

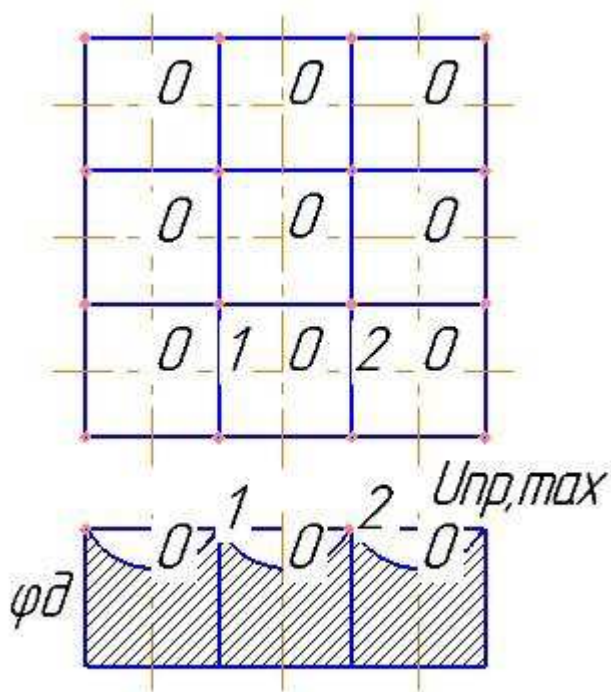


Рисунок 2.4 – потенциальная кривая внутри контура группового заземления в виде горизонтальной сетки с ячейками одинакового размера.

Для заземления в однородной земле, выполненного в виде горизонтальной квадратной сетке с квадратными ячейками одинакового размера и равномерным размещением вертикальных электродов по контуру (периметру) заземлителя, коэффициент напряжении прикосновения может быть вычислен по следующему выражению:

$$\alpha_1 = 0,5 / \left( \frac{l_v L_r}{a\sqrt{S}} \right)^{0.45} \quad (2.9)$$

Где  $l_v$  – длина вертикального электрода, м;  $L_r$  – общая длина всех горизонтальных электродов, м;  $a$  – расстояние между вертикальными электродами, м.  $S$  – площадь, занимаемая заземлителем, м.

## 2.1.4 Напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении основания на котором стоит человек

Ток, стекающий в землю через человека стоящего на земле, полу или другом основании, преодолевает сопротивления не только тела человека, но и этого основания, вернее, тех его участков, с которыми имеет контакт подошвы ног человека (сопротивление обуви, носков и т.п. в данном случае во внимание не принимается).

Сопротивление основания, на котором стоит человек, правильнее называть (аналогично сопротивлению заземления) сопротивлением растеканию тока основания ног; нередко это сопротивления имеют так же сопротивление растеканию основания или сопротивления растеканию ног человека.

Все положения, рассмотренные выше в этом параграфе, справедливы для случаев, когда сопротивление растеканию основанию, на котором стоит человек, равно 0. В действительных условиях это сопротивление не равно 0 и в ряде случаев бывает довольно велико.

Следовательно, разность потенциалов  $(\varphi_3 - \varphi_{осн})$ , равная  $\varphi_3 \alpha_1$ , В, оказывается приложенной не только к сопротивлению тела человека  $R_h$ , Ом, но и к последовательно соединенному с ним сопротивлению основания  $R_{осн}$ , Ом, на котором стоит человек (рис. 2.5)

$$\varphi_3 \alpha_1 = I_h (R_h + R_{осн}) \quad (2.10)$$

Заменив в этом выражении ток  $I_h$ , А, проходящий через человека, его значением из (2.1), получим

$$\varphi_3 \alpha_1 = \frac{U_{np}}{R_h} (R_h + R_{осн}) \quad (2.11)$$

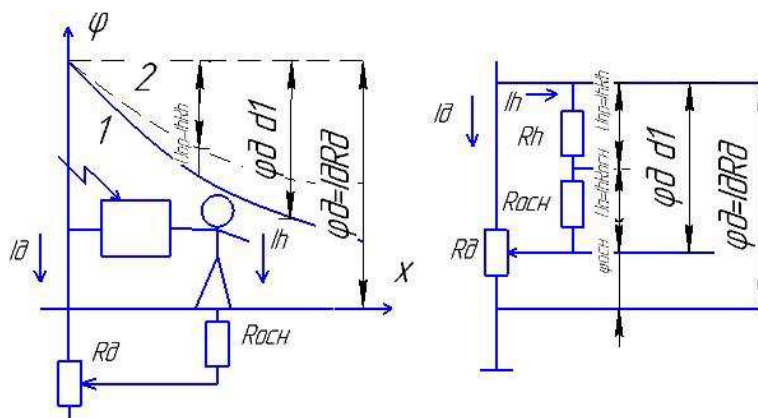


Рисунок 2.5 – определение напряжения прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек.

1- Потенциальная кривая; 2 – кривая, характеризующая изменения  $U_{\text{пр}}$ , с изменением расстояния от заземления.

Откуда напряжение прикосновения с учетом падения напряжения в сопротивлении растеканию основания, В,

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 \alpha_1 \frac{R_h}{R_h + R_{\text{осн}}} , \quad (2.12)$$

или

$$U_{\text{пр}} = \varphi_3 \alpha_1 \alpha_2 , \quad (2.13)$$

где  $\alpha_2$ - коэффициент напряжения прикосновения, учитывающий падение напряжения в сопротивлении растеканию основания, на котором стоит человек:

$$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + R_{\text{осн}}} . \quad (2.14)$$

Сопротивление растеканию основания, на котором стоит человек, или, иначе говоря, сопротивление ног человека, можно определить следующим образом.

Подошвы обуви человека, создающие контакт с основанием, можно уподобить дисковому заземлителю, лежащему на поверхности земли. Если площадь подошвы одной ноги принять равной  $0,0225\text{м}^2$  , то диаметр  $d$  эквивалентного ей диска будет равен  $0,17\text{м}$ , а сопротивление растеканию тока составит

$$R_{\text{н}} = \frac{\rho}{2d} \quad (2.15)$$

Полагая, что ступни ног отстоят одна от другой на расстоянии шага, и считая поэтому, что их поля растекания токов не влияют одно на другое получим искомое сопротивление растеканию основания, т.е. сопротивление растеканию обеих ног человека,

$$R_{\text{осн}} = \frac{R_{\text{н}}}{2} \quad (2.16)$$

Подставив это значение в (2.14) получим окончательное выражение для коэффициента напряжения прикосновения, учитывающего падение напряжения в сопротивлении растеканию ног человека,

$$\alpha_2 = \frac{R_h}{R_h + 1,5\rho} \quad (2.17)$$

## 2.1.5 Метод «амперметра-вольтметра» для определения напряжения прикосновения

Метод амперметра вольтметра детально описан в СТО...105-2011 (методические указания по контролю составлению заземляющего устройства электроустановок).

Напряжение прикосновения в электроустановках напряжением 110кВ и выше измеряют при имитации КЗ на землю, а электроустановках 6-35кВ – при имитации двойного замыкания на землю.

По исполнительной схеме выбирают контрольные точки измерений ( не менее 5 для каждого ЗУ) в местах наибольших значений сопротивления металlosвязи оборудования с ЗУ на рабочих местах и на остальном оборудовании.

Принципиальная схема измерений напряжения прикосновений представлена на рис 2.6. В соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 при измерении напряжения прикосновения в электроустановках напряжением 110кВ и выше сопротивление человека моделируется резистором  $R_ч$  1кОм. Сопротивление растеканию тока с ног человека должны моделироваться с помощью квадратной пластины 25х25см<sup>2</sup>, которая располагается на поверхности земли (пола) на расстоянии 0,8-1 м от оборудования, в местах возможного нахождения человека.

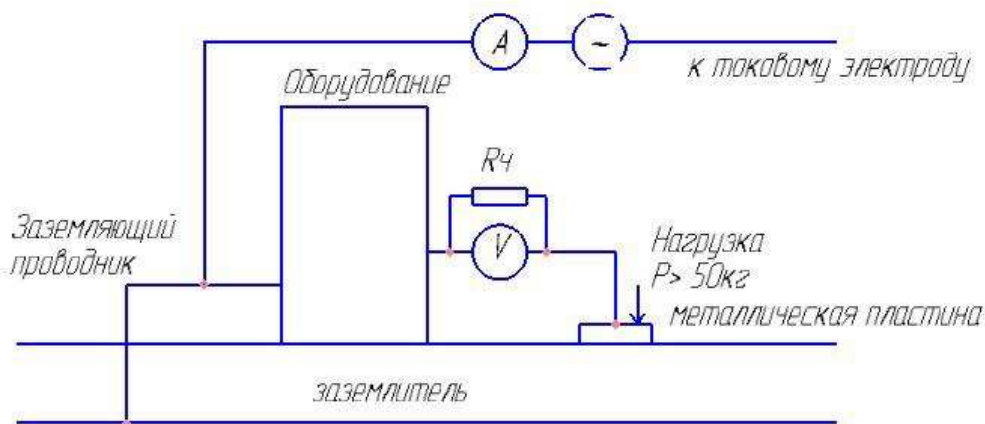


Рисунок – 2.6 схема измерения напряжения прикосновения

Токовый электрод размещают таким образом, чтобы возможно точнее имитировать токовую цепь, возникающую при замыкании на землю. При измерении напряжения прикосновения на территории РУ напряжения 110кВ и выше, питание которого осуществляется от одной или нескольких ВЛ, токовый электрод переносят от края заземлителя не менее, чем на 2Д, где Д-максимальный размер заземлителя. Если подстанция располагается н застроенной территории, то для уменьшения наводки напряжения на токовую цепь рабочим током ВЛ токовый электрод переносится не менее, чем на 200м

от подстанции и в сторону от питающих ВЛ примерно на 100м. Если измерения, выполняют на РУ 110кВ с шин, которого осуществляется питание нагрузки, а питание шин в свою очередь осуществляется от автотрансформаторов с высшим напряжением 220-1150кВ, токовый электрод следует присоединять с нейтралью питающего автотрансформатора.

Проводники токовой и потенциально цепи должны подключаться к заземленному оборудованию отдельными струбцинами при этом проводники токовой цепи присоединяют к заземляющему проводнику. Проводник потенциальной цепи может быть присоединен к этому же заземляющему проводнику или к любой точке металлоконструкции, т.е. к месту возможного прикосновения.

При измерении на не рабочем месте токовый вывод прибора присоединяют к заземляющему проводнику корпусу ближайшему оборудованию, по которому может протекать ток короткого замыкания. Напряжения прикосновения определяют по выражению:

$$U_{\text{пр}} = I_3 \left( \frac{U_{\text{изм}}}{I_{\text{изм}}} \right) \quad (2.18)$$

Где  $I_3$  – значение тока замыкания на землю в месте измерения, а  $U_{\text{изм}}$  – нагрузка на резисторе 1кОм,  $I_{\text{изм}}$  – ток источника питания.

По результатам измерений рассчитывают напряжение прикосновения.

При расчетах напряжения прикосновения с помощью компьютерной программы в качестве исходных данных принимают: исполнительную схему ЗУ; значения тока замыкания на землю; удельное сопротивление грунта. Результаты измерений напряжения прикосновения используют для тестирования расчетной модели.

Напряжения прикосновения рекомендуется измерять в следующих местах:

- в рабочих местах возле разъединителей, выключателей, трансформаторов тока и напряжения;
- у мест заземленных нейтралей трансформатором(в том числе ТСН), автотрансформаторов, шунтирующих реакторов, а так же у мест заземления в дугогасящих реакторов и резисторов;
- у калиток внутренних и внешних ограждений;
- у стоек конденсаторов связей;
- на входе в ОПУ и возле дизель-электрических установок.

## **2.1.6 Основные выводы по разделу 2.1**

На основании выше изложенного теоритического материала, можно сделать следующие основные выводы. Напряжение прикосновения зависит от следующих основных факторов: сопротивление заземления, сопротивление металлосвязи, сопротивление основания. Наибольшее значение напряжения прикосновения наблюдается в центральной точке квадрата (прямоугольника) сетки заземляющего устройства. На основании этого при разработке стенда по изучению напряжения прикосновения и сопротивления металлосвязи. Точка с наибольшим напряжением прикосновения будет находиться в центре моделируемого заземляющего устройства. Заземляющее устройство будет состоять из равномерных квадратов. Стенд должен отражать влияние сопротивления основания на величину напряжения прикосновения, а так же учитывать влияние металлосвязи.

## **2.2 Общие понятия и основные закономерности металлосвязи.**

### **2.2.1 Металлосвязь**

Металлосвязь – это электрическое соединение с помощью заземляющих проводников и заземлителей корпусов оборудования установленных на подстанции с заземляющим устройством. В качестве надежной точки подключения заземляющих проводников к заземляющему устройству принято считать заземленную нейтраль силовых трансформаторов (автотрансформаторов) установленных на подстанции.

### **2.2.2 Основные закономерности и метод измерения металлосвязи**

Сопротивление металлосвязи определяется переходными сопротивлениями контактных соединений между корпусом оборудования и заземляющим проводником, продольным сопротивлением заземляющих проводников и заземлителей, которые зависят от длины и сечения указанных элементов. Согласно [1] для определения качества металлосвязи оборудования с ЗУ должны быть проведены измерения переходного сопротивления контактных соединений заземляющих проводников с оборудованием, выполнено проверка целостности присоединения заземляющего оборудования к ЗУ и определена эквивалентность ЗУ. Контактные соединения проверяют осмотром, простукиванием, а так же выборочно измерением переходных сопротивлений мостами, микроомметрами и по методу амперметра-вольтметра.

В соответствии с [3] качественное присоединение к заземлителю обеспечивается при переходном сопротивлении не более 0,05 Ом.

Схема измерения сопротивления контактных соединений методом «амперметра-вольтметра» (четырёхзажимный измерителями сопротивления) показано на рис 2.7. сопротивления измеряются в первую очередь у болтовых соединений. Рекомендуется измерить все соединения, подверженные вибрации, например, в районе расположения силовых трансформаторов.

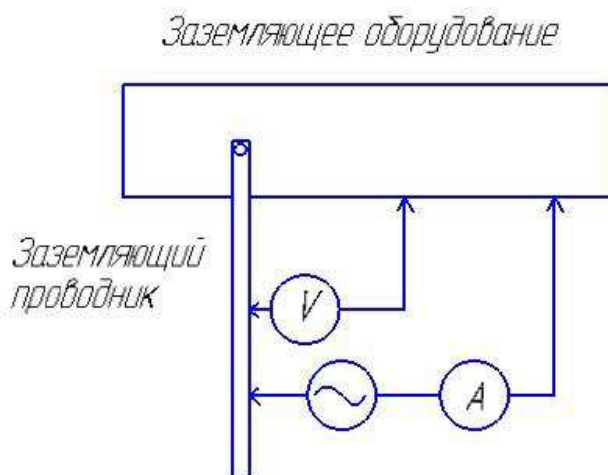


Рисунок 2.7 – схема измерения сопротивления контактов соединений

Проверка целостности заземления оборудования должна быть выполнена для всего заземляемого оборудования. Измерения сопротивления металlosвязи производят четырехзажимным способом по методу (амперметра вольтметра) – организуют отдельную токовую и потенциальную цепи. При этом не допускается намотка проводников токовой и потенциальной цепи на одно катушку. Расстояние между токовой и потенциальной цепями при раскладке их по территории электроустановки должно быть более 1 м. Присоединения каждой цепи к точке измерения проводится отдельной струбиной

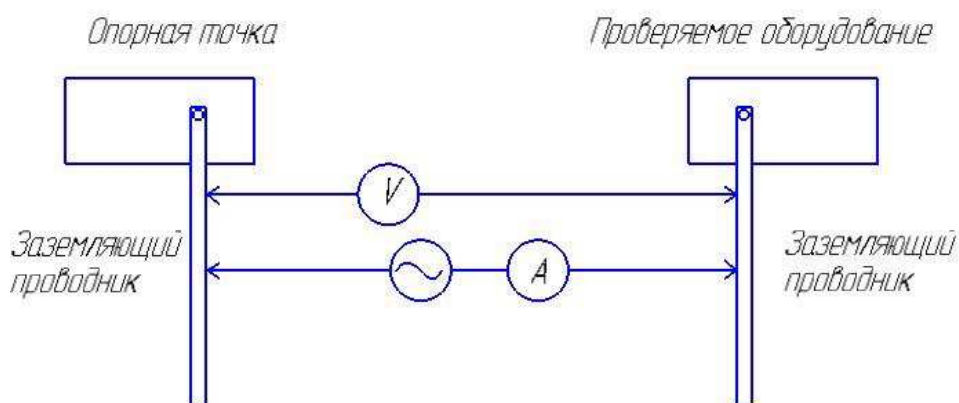


Рисунок 2.8 – Схема измерения сопротивления металlosвязи.



Проверку целостности заземления оборудования выполняют по схеме (рис 2.7) путем изменения сопротивления металlosвязи между проверяемым оборудованием и некоторой опорной точкой (заземляющим проводником) ЗУ, имеющей металlosвязь с ЗУ электроустановки менее 0,05 Ом.

В качестве опорных точек в электроустановках 110кВ и выше выбирают точки заземления нейтралей силовых трансформаторов (автотрансформаторов) Т (АТ). При наличии двух или более Т (АТ) предварительно следует произвести измерения сопротивлений металlosвязи между точками заземления нейтралей этих Т (АТ). Если ОРУ и силовые Т (АТ) территориально разнесены на значительные расстояния за опорные точки ОРУ могут быть приняты заземляющие проводники, имеющие удовлетворительную металlosвязь с точкой заземления силовых Т (АТ).

В качестве опорных точек в электроустановках выше 1кВ с использованной нейтралью или электроустановкой 110кВ и выше без силовых Т(АТ) должны быть выбраны металлоконструкции, имеющие наибольшее количество заземляющих проводников и естественных заземлителей (металлическое основание ОРУ), многостоечные металлические порталы и т.п.).

Качество заземления оборудования считается удовлетворительным, если измерения сопротивления не превышает :

$$R_{\text{доп}} < \frac{2000}{I^1_{\text{КЗ}}} , \quad (2.19)$$

где  $I^1$  – ток однофазного КЗ на шинах РУ, А.

### 2.2.3 Основные выводы по разделу 2.2

На основании выше изложенного можно сделать следующее

1. Сопротивление заземленных корпусов оборудования расположенных на ОРУ подстанции по отношению к заземленной нейтрали подстанции будет иметь различные значения, так как расстояние между трансформатором и оборудованием разное. Следовательно, при разработке стенда необходимо учитывать данные явления. Кроме этого при измерении и расчете металlosвязи необходимо отстраиваться от потенциалов на корпусах оборудования в безаварийном режиме.

2. Расчет сопротивления металlosвязи выполняется по формуле

$$R_{\text{МСВ}} = \frac{U_{\text{изм}} - U_{\text{х.х}}}{I_{\Gamma}} , \quad (2.20)$$

где  $U_{\text{изм}}$  – напряжение между нейтралью трансформатора и корпусом оборудования при включенном генераторе

$U_{\text{х.х}}$  – напряжение при отключенном генераторе

$I_{\text{Г}}$  – ток генератора промышленной частоты

### 2.3 Компьютерное моделирование металlosвязи и напряжения прикосновения

Для выбора параметров стенда (сопротивление металlosвязи и напряжения прикосновения) необходимо провести компьютерное моделирование с учетом следующих допущений: расположением горизонтального заземлителя в конкретном заземлителе установленным равномерно и равносторонне; вертикальными электродами пренебрегаем т.к сопротивлением металlosвязи и напряжение прикосновения в основном определяется горизонтальными заземлителями; реальные сопротивления горизонтального заземлителя могут изменяться от сотых до нескольких Ом, поэтому для наглядности и точности измерения сопротивления металlosвязи величина резисторов в схеме моделирования R1-R48, имитирующие горизонтальные заземлители, применяем равные 5 Ом; сопротивления значения тела человека составляет 1 кОм; сопротивление подсыпки выполнено из щебня принимаем 35 кОм. Схема для моделирования сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения представлено на рисунке 2.9

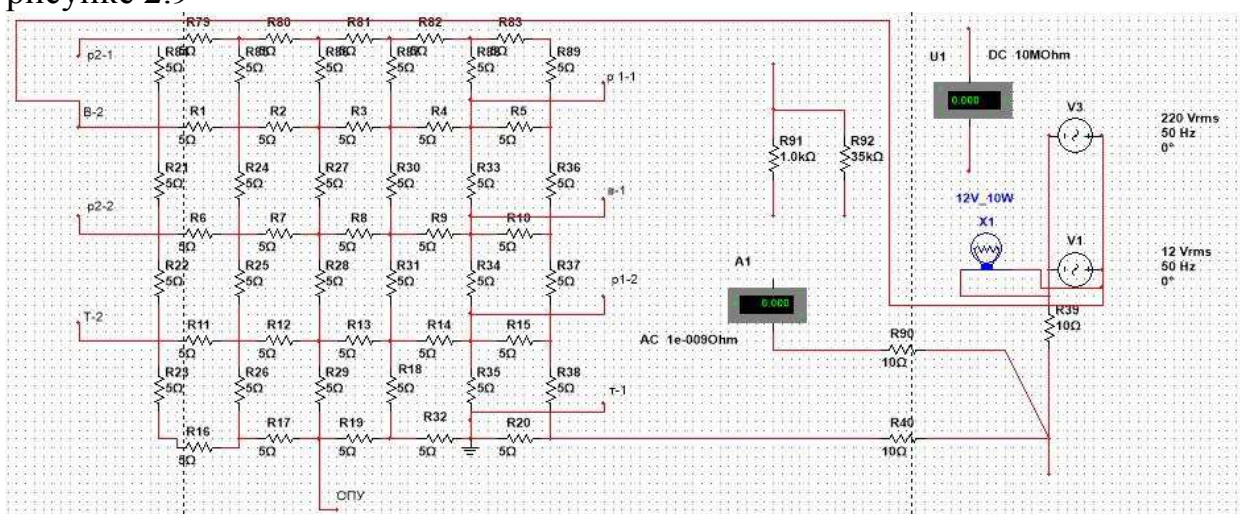


Рисунок 2.8 – Схема моделирования

Напряжение источника промышленной частоты при моделировании составляет 12В. Представленная схема реализовывает метод «амперметра-

вольтметра» для измерения напряжения металlosвязи и напряжения прикосновения. В данной схеме представленном моделировании разность потенциалов на заземляющем устройстве в нормальном режиме эксплуатации подстанции. Для этой цели величина напряжения источника питания промышленной частоты ограничивается с помощью резистора R? сопротивлением 10 Ом, включенным последовательно с источником питания и с заземляющим устройством. В результате образовался простейший делитель напряжения. Для получения данных представленных для расчета сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения, напряжение 12В подается в разные точки заземляющего устройства. Фиксируем напряжение между разными точками схемы и ток от источника промышленной частоты. Величина сопротивления металlosвязи рассчитывается по формуле (2.20).

Для расчета напряжения прикосновения фиксируется напряжение на резисторе величиной 1кОм, имитирующее тело человека, и ток источника питания. Значение напряжения прикосновения для реального режима КЗ рассчитывается по формуле: (2.18)

### 2.3.1 Результат моделирования сопротивления металlosвязи

В представленной схеме на рис 2.9 корпуса следующего оборудования и сооружений: линейный разъединитель(p1-1); элегазовый выключатель(в-1); линейный разъединитель(p1-2); трансформатор(т-1); общедистанционный пункт управления(ОПУ); трансформатор(т-2); линейный разъединитель(p2-2); элегазовый выключатель(в-2) и разъединитель(p2-1) соответственно подключаем в следующих точках на схеме рис 2.9,. Результаты измерений и расчета сопротивлений металlosвязи при моделировании представлены в таблице(2.3).

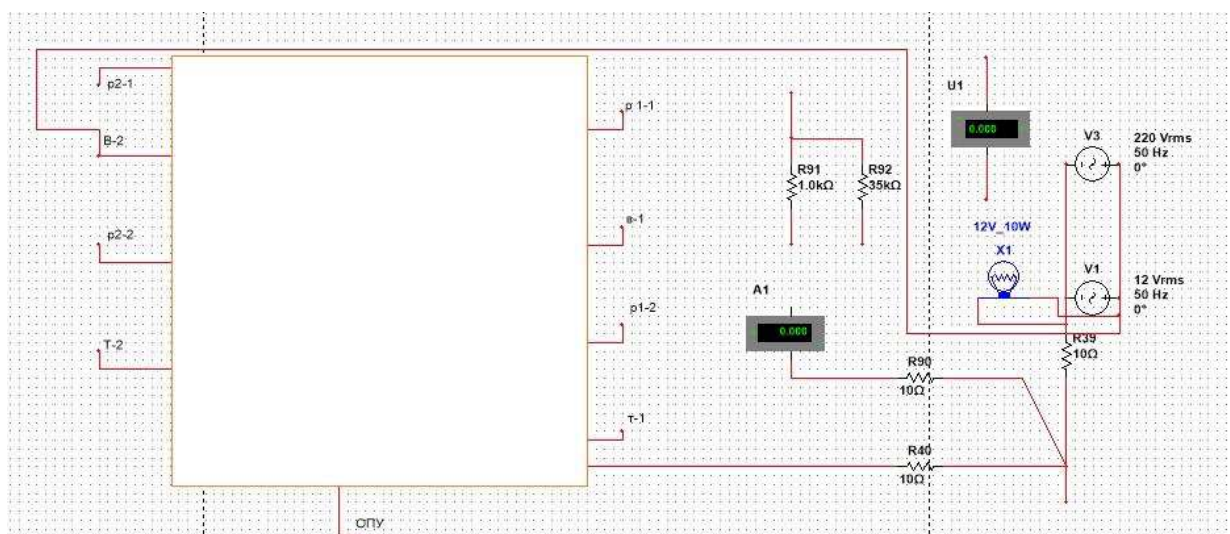


Рисунок 2.9 – принципиальная схема стенда.

Таблица 2.3 – Результаты измерений и расчета сопротивлений металlosвязи при моделировании

Наименование объекта	Точка подключения на схеме	$U_{xx}$ , В	$I_r$ , А	$U_{изм}$ , В	$R_{mc} = \frac{U_{изм} - U_{xx}}{I_r}$
Р 1-2	1	1,53	2,96	3,05	0,5
В-1	2	0,85	2,6	4,1	1,25
Р 1-1	3	1,66	2,4	5,57	1,62
ОПУ	4	1,57	2,37	6,36	2,02
Тр-2	5	4,27	2,24	7,04	1,23
Р 2-2	6	5,15	2,31	6,54	0,6
В-2	7	3,5	2,35	6,41	1,23
Р 2-1	8	2,97	2,22	7,2	1,9

Полученные значения металlosвязи сравнивают с допустимой величиной, которая измеряется по формуле:

$$R_{доп} = \frac{2000}{I_{кз}} \quad (2.21)$$

Согласно данным формуле значений допускается сопротивление металlosвязи определенной величиной тока КЗ. При моделировании были приняты следующие токи КЗ: 2500А, 2000А, 1420А, 1000А, 700А. Полученных при моделировании величины сопротивление металlosвязи сравниваем с допустимой величиной для каждого значения тока КЗ. Если сопротивление металlosвязи превышает допустимые значения, работа схемы моделирования с использованием шины уравнивание потенциалов( ШУП).

### 2.3.2 Результаты моделирования с использованием шины уравнивания потенциалов

ШУП предназначен для выполнения двух функций: 1- снижение тока в экранах контрольных кабелей; 2- для снижения сопротивления металlosвязи. ШУП представляет из себя стальную полосу определенного сечения: в моделирование в роли ШУП был резистор величиной 1 Ом, в таблице (2.4), результаты представленные (\*2) наглядно показаны при использовании ШУП позволяет привести в соответствии сопротивление металlosвязи в тех точках где оно превышало допустимое значение.

Таблица 2.4 –

Наименование объекта		$U_{xx}, В$	$I_{\Gamma}, А$	$U_{изм}, В$	$R_{mc} = \frac{U_{изм} - U_{xx}}{I_{\Gamma}}$
Р 1-1					
ОПУ					
Р 2-1					

### 2.3.3 Результаты моделирования напряжения прикосновения

Результаты моделирования напряжения прикосновения без использования подсыпки представлены в таблице (2.5)

Таблица 2.5 – Моделирование напряжения без использования подсыпки

Наименование объекта	Точка подключения на схеме	Без подсыпки		
		$I, А$	$U_{изм}, В$	$U_{расч}, В$
Р 1-2	1	2,98	2,13	1020,6
В-1	2	2,58	3,18	1750,2
Р 1-1	3	2,38	3,64	2171,7
ОПУ	4	2,35	3,67	2217,6
Тр 2	5	2,22	4,56	2943,2
Р 2-2	6	2,30	3,80	2346
В-2	7	2,33	3,51	1919,7
Р 2-1	8	2,22	4,73	3025,5

Результаты напряжения прикосновения с использованием подсыпки представлены в таблице (2.6)

Таблица 2.6 – Результаты напряжения прикосновения с использованием подсыпки

Наименование объекта	Точка подключения на схеме	с подсыпкой		
		I, А	U <sub>изм</sub> , В	U <sub>расч</sub> , В
Р 1-2	1	2,97	0,02	9,56
В-1	2	2,58	0,06	33,02
Р 1-1	3	2,38	0,07	41,7
ОПУ	4	2,35	0,07	42,2
Тр 2	5	2,22	0,10	63,9
Р 2-2	6	2,30	0,08	49,3
В-2	7	2,33	0,07	42,6
Р 2-1	8	2,22	0,10	64,5

Допустимые значения напряжения прикосновения выбираем из таблицы (2.6)

Таблица 2.7 – Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений при аварийном режиме электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000В, с глухим заземлением нейтрали.

Продолжительность воздействия t, с	Предельно допустимый уровень напряжения прикосновения U, В
До 0,1	500
0,2	400
0,5	200
0,7	130
1,0	100
Св 1,0 до 5,0	65

Сопоставляем значения таблиц 2.5, 2.6 и видно, что использование подсыпки является недорогим и эффективным способом по снижению напряжения прикосновения.

## **2.3 Выводы по второй главе**

На основе вышеизложенного материала, можно сделать следующие выводы:

1. Результаты моделирования позволяют наглядно показать, как происходит измерение напряжения прикосновения и сопротивление металлосвязи.
2. С помощью моделирования показано эффективность использования ШУП для снижения величины сопротивления металлосвязи и применения подсыпки для снижения величины напряжения прикосновения.
3. Полученные при моделировании параметры схемы можно использовать при разработке конструкции стенда.

## Глава 3 Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда

### 3.1 Разработка дизайна и конструкции стенда

Габариты стенда были приняты исходя из существующих стендов, которые используются в лабораториях на кафедре ЭГМП. Габариты стенда представлены на рисунке 3.1.

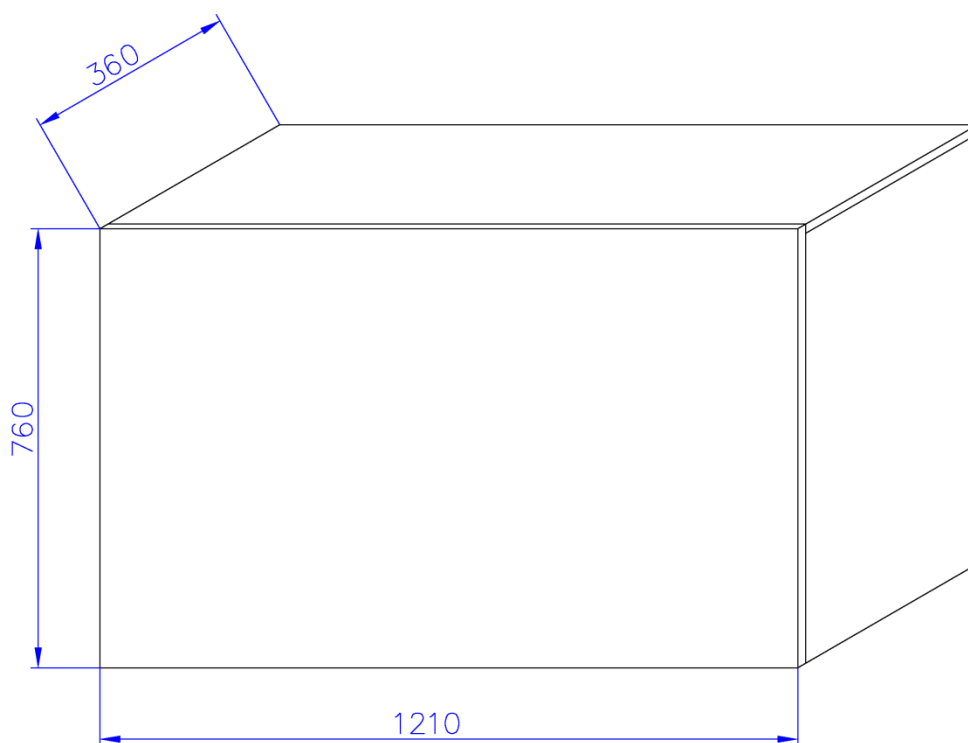


Рисунок 3.1 – Габариты лабораторного стенда

Корпус лабораторного стенда собран из листов ЛДСП белого цвета толщиной 16 мм, скрепленных шурупами. Внешний вид корпуса стенда представлен на рисунке 3.2





Рисунок 3.2 – Внешний вид корпуса лабораторного стенда

Согласно результатам моделирования лабораторный стенд должен позволять выполнять измерения сопротивлений металосвязи и напряжения прикосновения, демонстрировать эффективность работы ШУП и подсыпки соответственно для снижения сопротивления металосвязи и величины напряжения прикосновения.

На рисунке 3.3 показан эскиз лицевой части стенда. В правой части стенда приведена упрощенная схема подстанции к которой подходит две ЛЭП (K1, K2) напряжение 110кВ. На ОРУ 110кВ расположены разъединители, трансформаторы, выключатели и общедистанционный пункт управления (ОПУ). Оборудование, относящееся к линиям K1 или K2 на стенде обозначенные индексами 1 или 2. В верхней части стенде расположены тумблеры предназначенные для выбора режима работы подстанции: без аварийный или режим КЗ.

Корпуса разъединителей, трансформаторов, выключателей и помещение ОПУ связаны с заземляющим устройством подстанции. Точки заземления указанного оборудования и ОПУ показаны в виде красных и черных клейм.

Имитация работы ШУП осуществляется с помощью резистора с надписью ШУП

В левой части стенда расположен выключатель QF, предназначен для подачи напряжения на схему стенда. При включении выключателя QF загорается зеленая лампочка HL.

В левой части стенда имеются зажимы генератора промышленной частоты(ГПЧ), зажимы амперметра(pA) и вольтметра(pV), так же показан силуэт человека позволяющий имитировать напряжения прикосновения по схеме «рука- нога», для этого имеются соответствующие клеммы. Для изучения влияние подсыпки на величину напряжения прикосновения на стенде в левой части показан слой подсыпки в виде двух волнистых кривых и соответствующие клеммы связанные с основание подсыпки.

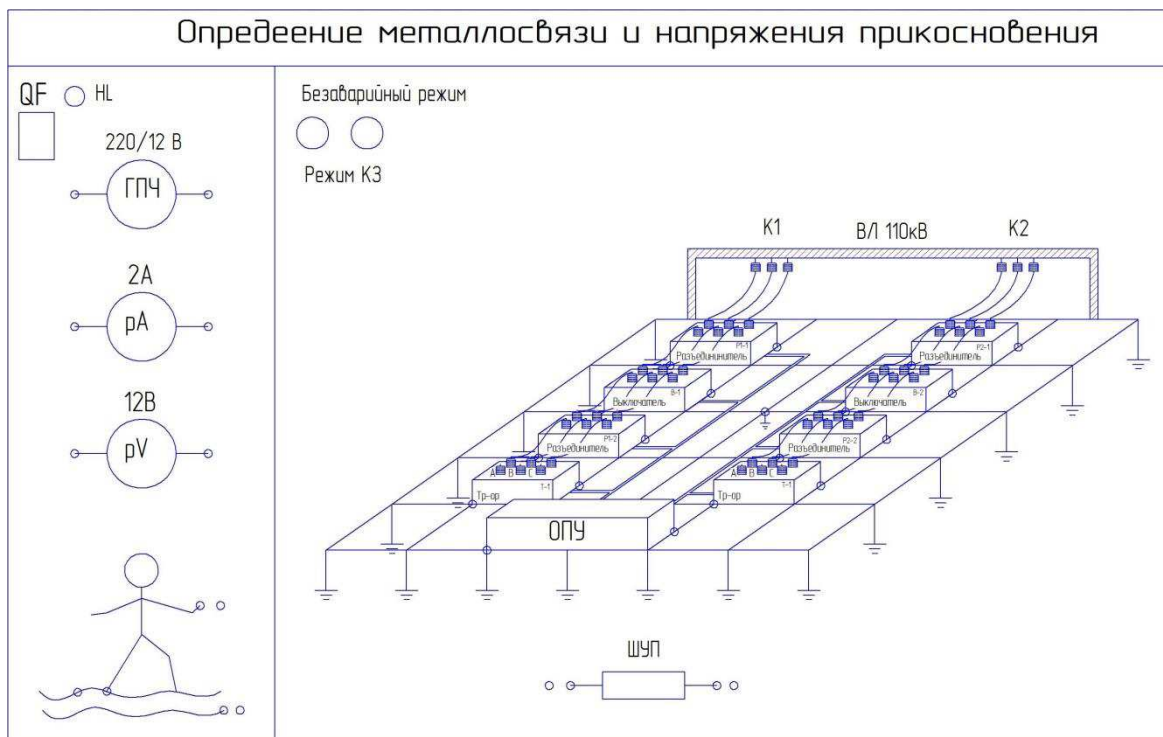


Рисунок 3.3 – Эскиз лицевой части стенда

Эскиз лицевой части был напечатан на самоклеящейся бумаге, а все необходимые элементы установлены на места, согласно эскизу на рисунке 3.3. На рисунке 3.4 приведен внешний вид лабораторного стенда «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения».

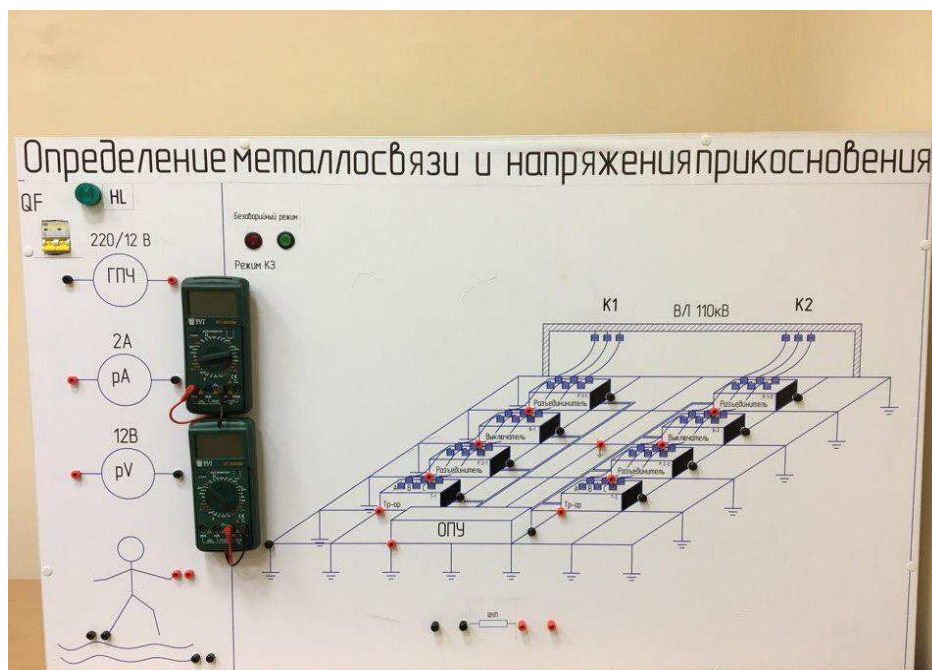


Рисунок 3.4 – Внешний вид лабораторного стенда «Определение металlosвязи и напряжения прикосновения»

### 3.2 Выбор рабочего напряжения и автоматического выключателя

Для безопасного функционирования лабораторного стенда принимаем рабочее напряжения схемы 12В.

Электрические параметры схемы стенда, приведенные в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Электрические параметры схемы стенда

Название лабораторной работы	Напряжение сети, В	Рабочее напряжение, В	Номинальный ток схемы, $I_n$ , А	Номинальная мощность $P_n$ , Вт	Коэффициент мощности, $\phi$
Измерение сопротивления металлообвязки	220	12	3,0	36,0	1
Измерение напряжения прикосновения	220	12	3,0	36,0	1

Для защиты оборудования, питающегося от напряжения 220 В, от токов КЗ принимаем автоматический выключатель ВА 47-29. Параметры автоматического выключателя приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры выключателя

Тип выключателя	Номинальное напряжение $U_n$ , В	Номинальный ток расцепителя $I_{н.расц.}$ , А	Номинальная отключающая способность $I_{сп.}$ , кА
ВА 47-29	220	6	4,5

Ток двухфазного короткого замыкания в месте установки стенда по данным энергетической службы СФУ не превышает 2.2кА. Выключатели считаются работоспособным если  $U_{н.выкл.} = U_{н.сети}$   $I_{н.расц.} \geq 1,15I_{н.эл.пр.}$ . Отключающая способность выключателя должна быть  $I_{откл.н.} \geq I_{кз.макс.}$ .

В таблице 3.3 приведены сравнительные характеристики выключателя с параметрами схемы стенда.

Таблица 3.3 – Сравнительные характеристики выключателя

Параметр	QF	Схема 1	Схема 2	Выполнение условия
$U_n$ , В	220	220/12	220/12	Соблюдается
$I_{н.расц.}$ , А	6	3,0	3,0	Соблюдается
$I_{откл.сп.}$ , кА	4,5	2,2	2,2	Соблюдается

Анализ таблицы 3.3 показывает, что выбранный выключатель обеспечит надежную работу схемы, а при возникновении короткого замыкания успешно отключат соответствующую схему от сети.

### **3.3 Разработка принципиальной электрической и монтажной схемы стенда**

Результаты моделирования, приведенные во втором разделе, показали хорошее совпадение практических результатов с результатами теоретических исследованиями, поэтому в качестве принципиальных электрических схем по измерению сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения были приняты параметры схем моделирования.

Принципиальные электрические схемы для измерения сопротивления металlosвязи и напряжения прикосновения показаны на рис 3.5. В таблице 3.5 приведены значения сопротивлений схем, а также марка резистора или тип материала, из которого изготовлен резистор. На основании принципиальных электрических схем была разработана монтажная схема стенда. Монтажная схема, представленная на рисунке 3.6.

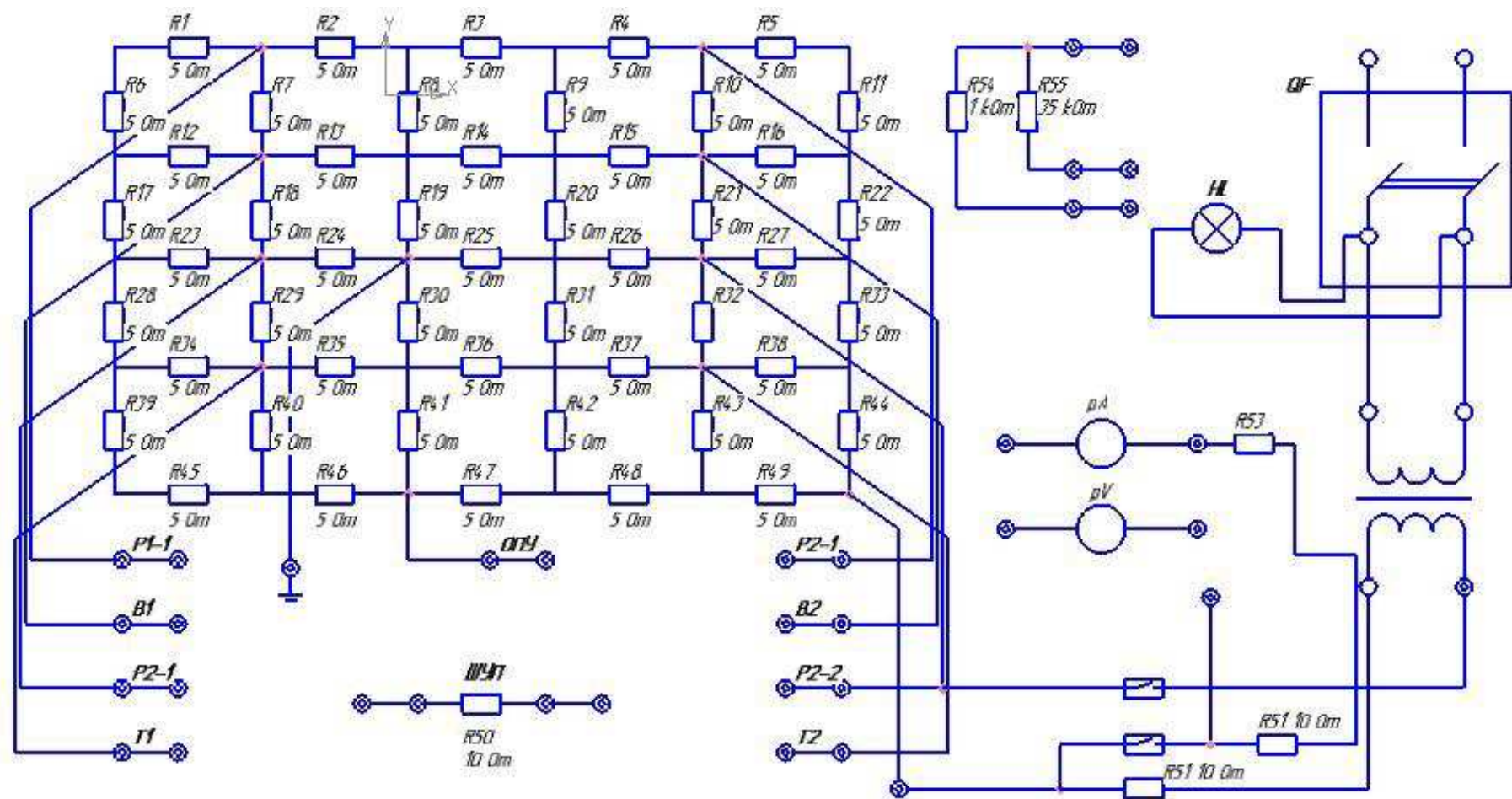


Рисунок 3.5 – Принципиальная схема стенда

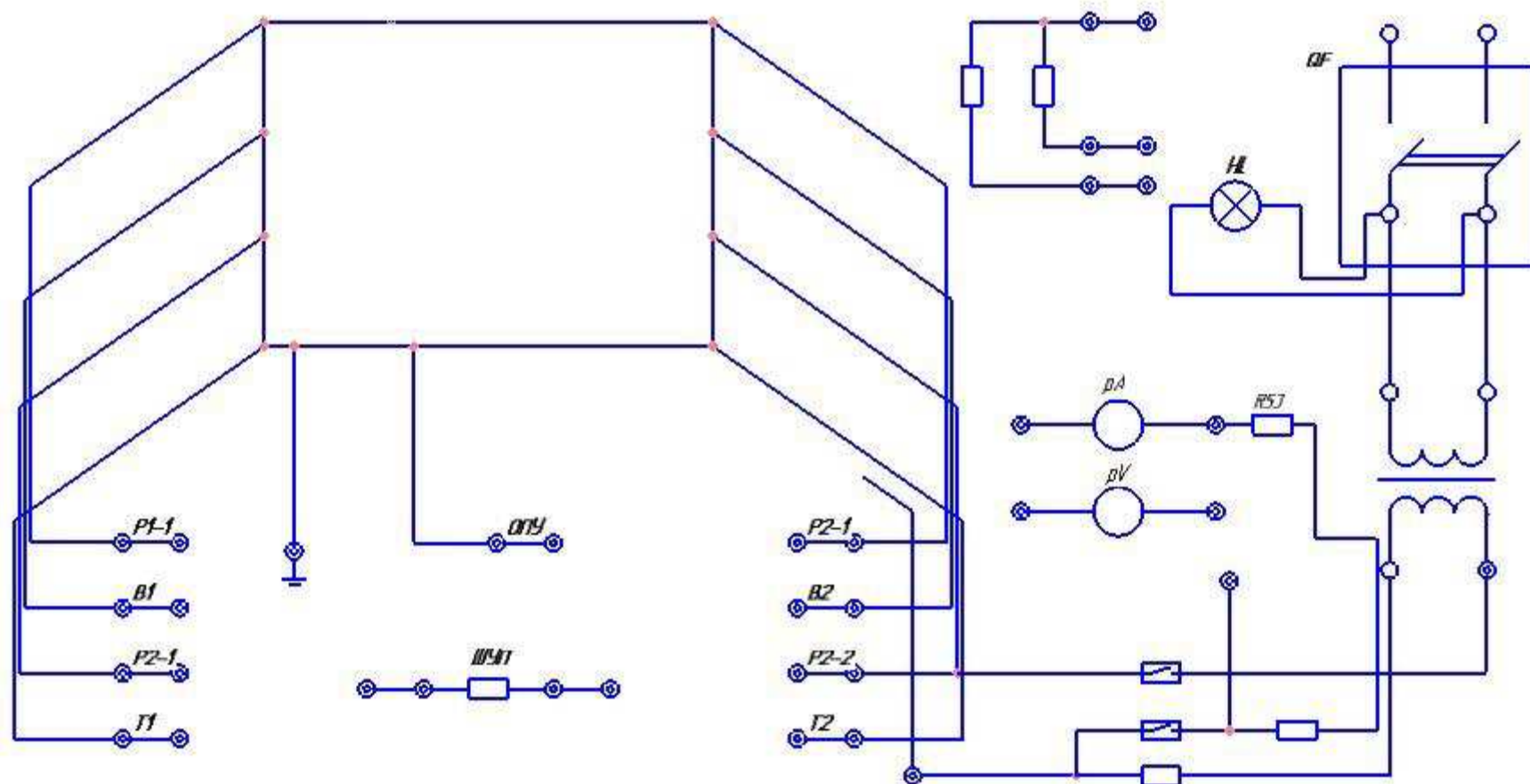


Рисунок 3.6 – Монтажная электрическая схема стенда



### 3.4 Измерительные приборы и оборудование

Для определения величины сопротивления металlosвязи и реальных значений напряжений прикосновений необходимо измерять силу тока и напряжение.

Амперметр и вольтметр выбран исходя из теоретических значений силы тока и величины напряжения в цепи, полученных в ходе моделирования в среде Multisim 12.0.

Цифровой мультитестер ВЕЛ DT-9205М с диапазоном измерения переменного тока 0-20А, и диапазоном измерения переменного напряжения 0-700В. Минимальное значение силы тока и напряжения, которые фиксирует прибор соответственно составляют  $2 \times 10^{-6}$  А и  $1 \times 10^{-3}$ В. Технические характеристики прибора приведены в таблице 3.4.



Рисунок 3.7 – Внешний вид мультитестера



Таблица 3.4 – Технические характеристики ВЕЛ DT-9205M

Технические характеристики	Параметры
Напряжение постоянного тока	0 - 1000 В
Напряжение переменного тока	0 – 700 В
Постоянный ток	0 – 20 А
Переменный ток	0 – 20 А
Сопротивление	0 – 20 Мом
Емкость	0 – 200 мкФ
Масса	0,3 кг

Измерение напряжения в цепи переменного тока (V AC)

Режим	Единица Измерения	Погрешность
2 В	1 мВ	$\pm 0,8\%$ ед. изм $\pm 3$ значения
20 В	10 мВ	$\pm 0,8\%$ ед. изм $\pm 3$ значения
200 В	100 мВ	$\pm 0,8\%$ ед. изм $\pm 3$ значения
750 В	1 В	$\pm 1,2\%$ ед. изм $\pm 3$ значения

Измерение силы тока в цепи переменного тока (A AC)

Режим	Единица Измерения	Погрешность
2 мА	1 $\mu$ А	$\pm 1,2\%$ ед. изм $\pm 3$ значения
20 мА	10 $\mu$ А	$\pm 1,2\%$ ед. изм $\pm 3$ значения
200 мА	100 $\mu$ А	$\pm 1,8\%$ ед. изм $\pm 3$ значения
20 А	10 мА	$\pm 3\%$ ед. изм $\pm 3$ значения

Спецификация приборов, устройств, комплектующих и расходных материалов, представлена в таблице 3.5

Таблица 3.5 – Спецификация электрооборудования

Обозначение	Наименование	Тип или марка	Кол-во
QF	Автоматический выключатель	ВА47-29 6А IEK	1
HL	Индикаторная лампа 220 В		1
pA	Амперметр переменного тока	БЕЛ ДТ-9205М	1
pV	Вольтметр переменного тока	БЕЛ ДТ-9205М	1
Безаварийный режим Режим КЗ	Тумблеры 2 позиц.	MTS-1	2
$R_1 \dots R_{50}$	5 Ом, 5 Вт	керамическое	50
$R_{51}$	1 Ом, 100Вт	Нихромовая нить	1
$R_{51} \dots R_{54}$	10 Ом, 75 Вт	керамическое	3
$R_{55}$	1 кОм, 150Вт	керамическое	1
$R_{56}$	35 кОм, 150Вт	керамическое	1
TV	Трансформатор 220/12В		1
	Монтажный провод	ПВ-1 1,5мм <sup>2</sup>	40
	Штепсельные разъемы		36
	Клеммная колодка	КЗВ	16

### 3.4 Аprobация реальной схемы стенда

Настоящий стенд позволяет выполнить две лабораторные работы:

1. Определения сопротивления металlosвязи;
2. Определение напряжения прикосновения.

#### 3.4.1 Аprobация второй лабораторной работы «Определение напряжения прикосновения»

1. Для выполнения данной лабораторной работы с помощью красного зеленого тумблера выбираем режим КЗ. Напряжение прикосновения определяем на корпусе каждого оборудования расположенного на территории ОРУ подстанции. Для этой цели используем ГПЧ, амперметр, вольтметр и сопротивление человека.

Согласно, нормативных документов для определения напряжения прикосновения сопротивление человека принимается равным 1 кОм. На стенде представлено условно-графическое изображение человека. Напряжение прикосновения определяем между рукой и ногой человека.

2. Собираем схему: ГПЧ включаем последовательно с амперметром, свободный зажим генератора промышленной частоты соединяем с заземленным корпусом Т1, второй зажим амперметра подключаем к заземленному корпусу оборудования разъединителя Р2-1. К данному оборудованию подключаем человека по схеме-«рука-нога». Рука к корпусу оборудования Р2-1, нога к центральной точке заземляющего устройства. Подключаем вольтметр параллельно человеку по схеме-«рука-нога». Включаем амперметр и вольтметр. Выбираем следующие пределы(~): амперметр-20А, вольтметр-20В. Включаем стенд и производим измерения, полученные результаты заносим в таблицу 3.8. Отключаем стенд.

Таблица 3.8 – Измерение напряжения прикосновения

№	Наименование объекта	$U_{изм}, В$	$I_{имз}, А$	$U_{прик}, В$
1	Р2-1	2,85	2,04	1983,8
2	В-1	3,11	2,52	1752,4
3	Р1-1	3,57	2,32	2185,08
4	ОПУ	3,60	2,29	2232,3
5	Т-2	4,38	2,16	2879
6	Р2-2	3,68	2,24	2332,8
7	В-2	3,42	2,28	2130
8	Р1-2	4,61	2,16	3030,6

3. Переносим проводники, связывающего зажим амперметра и руку человека, на заземленный корпус выключателя В1. Включаем стенд и производим измерения, результаты измерений заносим в таблицу 3.8. Отключаем стенд.

4.Выполняем аналогичные операции, прописанные в пункте 3, по отношению к остальному оборудованию, расположенному на подстанции.

5.Рассчитываем напряжение прикосновения с учетом реального однофазного тока КЗ по ниже следующей формуле:

$$U_{\text{прик}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(1)}}{I_{\text{изм}}} * U_{\text{изм}} . \quad (3.3)$$

Принимаем ток КЗ согласно варианту, который выдаёт преподаватель.

6.Согласно времени существования режима КЗ, по таблице(2.7) выбираем значения допустимого напряжения прикосновения.

Время существования КЗ, в зависимости от варианта, выбирает преподаватель. Сравниваем допустимое значение напряжения прикосновения с допустимой величиной. В нашем случае время существования режима КЗ превышает 1сек, допустимая величина напряжения прикосновения составляет 65 В. Сравниваем полученные значения с допустимой величиной и делаем вывод: в каких рабочих местах необходимо снизить напряжение прикосновения. В нашем случае во всех рабочих местах.

Одним из наиболее эффективных способов снижения напряжения прикосновения является подсыпки из щебня. Согласно нормативным документам толщина подсыпки должна быть не менее 15см.

На стенде можно продемонстрировать данный эффект. Для этой цели переносим проводник с зажима ноги человека и в нижний слой подсыпки и соединяем данную точку с центральной точкой заземляющего устройства. Выполняем измерения в аналогичной последовательности, приведенной в опыте без использования подсыпки. При этом устанавливаем предел на вольтметре(~) 2 В. Данные заносим в таблицу(3.9). Отключаем стенд.

Таблица 3.9 – Измерения напряжения прикосновения с использованием подсыпки

№	Наименование объекта	$U_{\text{изм}}, \text{В}$	$I_{\text{изм}}, \text{А}$	$U_{\text{при}}, \text{В}$
1	P2-1	0,053	2,89	26,04
2	B-1	0,082	2,53	46,02
3	P1-1	0,094	2,32	57,5
4	ОПУ	0,095	2,29	58,2
5	T-2	0,116	2,16	60
6	P2-2	0,097	2,24	61,4
7	B-2	0,09	2,28	56,05
8	P1-2	0,121	2,16	64,4

7. Рассчитываем напряжение прикосновения по выше указанной формуле(3.3).

8.Анализируем полученные результаты

Анализ полученных результатов, приведенных в таблице (3.9), показывает, что использование подсыпки снижает напряжение прикосновения ниже допустимой величины и тем самым обеспечивает безопасность жизни деятельности персонала в случае возникновения КЗ на ОРУ подстанции.

### **3.5 Выводы по третьему разделу**

Разработанный стенд и апробация его работы позволяет студентам получить навыки по определению сопротивления металlosвязи и напряжению прикосновения, а так же продемонстрировать эффект использования ШУП для снижения сопротивления металlosвязи и использования подсыпки для снижения напряжения прикосновения. Таким образом, цель поставленная в дипломной работе достигнута.



## **Глава 4 Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы «Определение напряжения прикосновения на подстанциях 110кВт и выше»**

Методическое обеспечение включает в себя два основных раздела:

- 1) методические указания к лабораторным работам;
- 2) возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами.

Методические указания предназначены для студентов и отражают последовательность выполнения лабораторных работ в зависимости от вариантов, которые выдает преподаватель.

Исходные данные с полученными результатами для каждого варианта предназначены для преподавателя с целью проверки достоверности полученных результатов студентами.



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ

## Определение металлосвязи и напряжения прикосновения на подстанциях 110кВт и выше

Методические указания к лабораторным работам для студентов  
электротехнических специальностей

Красноярск 2018

#### 4.1.1 Введение

Задачи, стоящие перед высшей школой на современном этапе, требуют повышения качества подготовки специалистов, усиления их практического обучения. Большая роль в совершенствовании учебного практического обучения в вузах принадлежит увеличению доли лабораторно-практических занятий в общем объеме изучаемых дисциплин. Эта форма обучения больше, чем любая другая, позволит обеспечить единство теории и практики.

Целью методических указаний является помощь студентам в поиске необходимой информации при изучении курса «Электромагнитная остановка и электромагнитная совместимость на подстанции» и выполнении соответствующих лабораторных работ, что особенно важно в условиях имеющегося дефицита научно-технической литературы в данном направлении.

Содержание учебного пособия соответствует государственным образовательным стандартам и рабочим программам для студентов электротехнических специальностей вузов.

#### 4.1.2 Техника безопасности при работах в лаборатории

Безопасность проведения и выполнения лабораторных работ является важнейшим условием учебного процесса. Несоблюдение правил техники безопасности и неосторожное обращение с электрическими аппаратами, схемами стендов лабораторных работ могут привести к тяжелым несчастным случаям.

Для предупреждения несчастных случаев все студенты, проводящие лабораторные работы, практические занятия или ведущие научно-исследовательские эксперименты в лаборатории и мастерской, должны знать и строго выполнять все требования по технике безопасности для каждого вида и рода работ, после инструктажа по технике безопасности они должны расписываться в специальном журнале.

Включение схемы под напряжение производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания произойдет автоматическое срабатывание автоматического выключателя и стенд обесточится. При повреждении прибора в собранной схеме студент должен немедленно отключить пакетный выключатель на лицевой панели стенда и, **не делая попыток к исправлению, сообщить о повреждении преподавателю или лаборанту.**

В случае прекращения опыта или перерыва в работе схему надо обязательно отключить от сети.

Все изменения в соединениях (согласно программе проведения каждой лабораторной работы) должны производиться только при отключенном рабочем щите. После каждого изменения соединений – до включения напряжения – схема должна быть вновь проверена преподавателем или лаборантом.

Во время выполнения работы запрещается:

производить переключения в рабочей схеме, находящейся под напряжением;

прикасаться к оголенным токоведущим частям установок;

оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением;

включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и рубильники.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов **необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.**

#### **4.1.3 Общие указания по оформлению отчетов**

Отчеты по выполненным работам оформляют с использованием персонального компьютера.

Схемы, таблицы и графики можно вычерчивать в карандаше, но обязательно с применением чертежных принадлежностей. Элементы схемы должны быть изображены по ГОСТу. Значения аргумента следует откладывать по горизонтальной оси, а значения функции – по вертикальной. Вдоль осей наносят масштабные шкалы, деления которых должны быть равномерными. Числовые значения следует указывать против соответствующих делений.

После нанесения экспериментально полученных точек на график, следует провести плавную линию, проходящую по возможности ближе к этим точкам.

При большом количестве кривых на одном графике рекомендуется изображать их штриховыми, штрихпунктирными или цветными линиями.

Следует избегать графиков, в которых деления в начале координат начинаются не с нулевого значения. Такие графики не дают представления о характере рассматриваемых зависимостей.

В конце каждой выполненной и оформленной работы должна стоять подпись студента.

Защита лабораторных работ осуществляется согласно графику, утвержденному преподавателем.

Конкретные указания по содержанию отчетов приводятся в конце описания каждой лабораторной работы.

#### **4.1.4 Общие положения**

Вторичное оборудование, системы связи, кабели вторичной коммутации на протяжении всего срока службы подвергаются электромагнитным воздействиям разного вида. Невыполнения условий ЭМС приводит к повреждению вторичного оборудования, неправильным действиям (отказам, излишним или ложным срабатываниям) устройств РЗА, перекрытию изоляции кабелей вторичной коммутации и клемм шкафов вторичной коммутации, сбоем в работе автоматизированных рабочих мест персонала и т.д., существенно снижает надежность работы энергообъекта.

Критерием выполнения условий ЭМС является обеспечение электромагнитной обстановки, при которой наибольшие возможные уровни электромагнитных воздействий всех видов на объекте электросетевого хозяйства не превышают допустимых значений для каждого конкретного вторичного оборудования.

ЭМС вторичного оборудования и систем связи достигается при выполнении основных требований:

- применение вторичного оборудования с высоким уровнем помехозащищенности;
- применение первичного и вторичного оборудования с ограниченным уровнем эмиссии электромагнитных воздействий;
- выполнение комплекса организационных и технических мероприятий, обеспечивающих ограничение электромагнитных воздействий.

Каждое устройство испытывают на устойчивость к электромагнитным воздействиям. В технической документации на устройство производитель должен указывать уровень помехоустойчивости устройства, степень жесткости испытаний, а также уровень эмиссии электромагнитных воздействий. При аттестации оборудования, устанавливаемого на подстанциях, следует предъявлять требования по испытанию на помехоустойчивость и помехоэмиссию. Рекомендуемые степени жесткости испытаний и параметры испытательных воздействий для устройств вторичного оборудования и систем связи приведены в таблице 4.1.

Устойчивая и надежная работа вторичного оборудования и систем связи возможна только при условии создания на объекте ЭМО, при которой уровни электромагнитных воздействий всех видов не превышают допустимые для каждого конкретного устройства значения.

Таблица 4.1 – Виды испытаний на помехоустойчивость и помехоэмиссию вторичного оборудования и рекомендуемые степени жесткости.

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
1	Напряжения и токи промышленной частоты при КЗ на землю. Испытания электрической прочности изоляции (напряжение в установившемся режиме) и импульсным напряжением.	ГОСТ 30328-95 МЭК 60255-5	-	2000 В переменного тока	Для всех портов питания и для портов проводных цепей, выходящих на РУ
<b>Порт корпуса</b>					
2	Магнитные поля промышленной частоты от силового оборудования в нормальных и аварийных режимах. На устойчивость к воздействию магнитного поля промышленной частоты	ГОСТ Р 50648-94 (МЭК 61000-4-8).	5 ст. жест.	100А/м (длительно), 1000А/м (кратковременно)	Для устройств чувствительных к магнитным полям
			2 ст. жест.	3А/м (длительно)	Для мониторов с электронно-лучевой трубкой
3	Электромагнитные поля радиочастотного диапазона от внешних и внутренних устройств связи. На устойчивость к излучаемым радиочастотным электромагнитным полям	ГОСТ Р 51317.4.3-99 (МЭК 61000-4-3).	Не ниже 3 ст. жест.	10В/м	Для всех устройств.
4	Импульсные магнитные поля от молнии и первичных цепей. На устойчивость к импульсному магнитному полю.	ГОСТ Р 50649-94 (МЭК 61000-4-10-93).	Не ниже 4 ст. жест.	300А/м	Для устройств чувствительных к магнитным полям.
5	Разряды статического электричества с персонала. На устойчивость к разрядам статического электричества.	ГОСТ Р 51317.4.2-99 (МЭК 61000-4-2-95, МЭК 60255-22-2-96).	Не ниже 3 ст. жест	6кВ контактный, 8кВ воздушный	Для всех устройств.
<b>Сигнальные порты</b>					
6	Импульсные помехи, возникающие при	ГОСТ Р 51317.4.12-99	Локальное Полевое	-	Для всех устройств.



Продолжение таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	(МЭК 61000-4-12-96)	1. ст. жест. (для однократных) 2 ст. жест. (для повторяющихся) <u>С</u> <u>оборудование</u> <u>м</u> 2. ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	2кВ (провод - земля), 1кВ (провод -провод) 1кВ (провод - земля), 0,5кВ (провод – провод) 4кВ(провод - земля), 2кВ противофазное 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	
7	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	<u>Локальное</u> Провод - земля 2 ст. жест. Провод -провод 1 ст. жест. <u>Полевое</u> Провод - земля 3 ст. жест. Провод - провод ст. жест. <u>С</u> <u>оборудование</u> <u>м</u> Провод - земля 4 ст. жест. Провод -провод ст. жест.	1кВ 0,5 кВ 2кВ 1 кВ 4кВ 2 кВ	Для всех устройств.
8	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	<u>Локальное</u> 3 ст. жест. <u>Полевое</u> 4 ст. жест. <u>С</u> <u>оборудование</u> <u>м</u> Спец. Ст. жест.	1кВ 2кВ 4кВ	Для всех устройств.
9	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех сигнальных портов.
<b>Питание постоянным током</b>					
10	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (1с) 60% (0,1с)		Только для входных портов.

Продолжение таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
	Прерывания напряжения		100% (0,5с)		
11	На устойчивость к пульсациям напряжения постоянного тока.	ГОСТ Р 51317.4.17-2000 (МЭК 61000-4-17-99).	Не ниже 3 ст. жест.	Пульсации не выше 10%.	Для всех портов питания постоянного тока.
12	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам в полосе частот от 0 до 150 кГц.	ГОСТ Р 51317.4.16 - 2000 (МЭК 61000-4-16-96).	Не ниже 3 ст. жест.	10В (длительно) 100В (1с)	Для всех портов питания постоянного тока.
13	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95).	Провод - земля 3 ст. жест.  Провод - провод 2 ст. жест.	2кВ 1 кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
14	Наносекундные импульсные помехи от электромеханических устройств в системах электропитания постоянного и переменного тока. На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания постоянного тока.
15	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц.	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	3 ст. жест.	10 В	Для всех портов питания постоянного тока.
16	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод - земля), 2кВ (провод - провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	Для всех портов питания постоянного тока.

Продолжение таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
<b>Питание переменным током</b>					
17	Провалы напряжения	МЭК 61000-4-29	30% (50 периодов) 60% (1 период)		Только для входных портов.
	Прерывания напряжения		100% (5 периодов)		
18	На устойчивость к гармоникам и интергармоникам, к сигналам систем телеуправления и сигнализации в напряжении сети переменного тока.	ГОСТ 29280-92 (МЭК 61000-4, МЭК 61000-4-13).	В соответствии с рекомендациями настоящих МУ.		Для всех портов питания переменного тока.
	На устойчивость к колебаниям напряжения	ГОСТ Р 51317.4.14-2000 (МЭК 61000-4-14-2000).			
	На устойчивость к динамическим изменениям напряжения электропитания	ГОСТ Р 51317.4.11-99 (МЭК 61000-4-11-94).			
19	На устойчивость к изменениям частоты питания в сети переменного тока	ГОСТ Р 51317.4..28 - 2000 (МЭК 61000-4-28-2000).			
20	На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	Для всех портов питания переменного тока.
21	Импульсные помехи, возникающие при коммутациях силового оборудования и КЗ на первичной стороне. На устойчивость к колебательным затухающим помехам.	ГОСТ Р 51317.4.12-99 (МЭК 61000-4-12)	4 ст. жест. (для однократных) 3 ст. жест. (для повторяющихся)	4кВ (провод - земля), 2кВ (провод - провод) 2,5кВ (провод - земля), 1кВ (провод - провод)	Для всех портов питания переменного тока.
22	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Для всех портов питания переменного тока.

## Окончание таблицы 4.1

№ п/п	Вид электромагнитных воздействий и испытаний на помехоустойчивость	Нормативный документ	Степень жесткости испытаний (тип соединения)	Параметр	Примечание
23	Импульсные помехи от токов молнии. На устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.	ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-96).	Провод - земля 4 ст. жест.  Провод - провод 3 ст. жест.	4кВ 2 кВ	Для всех портов питания переменного тока.
<b>Порт функционального заземления</b>					
24	На устойчивость к наносекундным импульсным помехам (ввод помехи применением емкостных клещей связи)	ГОСТ Р 51317.4-4-99 (МЭК 61000-4-4-95, МЭК 60255-22-4).	4 ст. жест.	4кВ	Требования применяют к соединениям с функциональным заземлением, отделенным от защитного заземления.
25	Кондуктивные помехи от внешних и внутренних источников. На устойчивость к кондуктивным помехам, в полосе частот от 150 кГц до 80 МГц..	ГОСТ Р 51317.4.6-99 (МЭК 61000-4-6-96).	Не ниже 3 ст. жест.	(10В)	10В=140дБ (мкВ)
<b>Помехоэмиссия</b>					
26	Радиопомехи от оборудования. Помехоэмиссия.	ГОСТ Р 51318.22- 99 (СИСПР 22-97) ГОСТ Р 51318.11-99 (СИСПР 11-97)	В соответствии с ГОСТ		

#### 4.1.5 Термины и определения

Для целей настоящих методических указаний применяются следующие термины и их определения:

*Внешние устройства молниезащиты* – комплекс, состоящий из молниеприемников, токоотводов и заземлителей.

*Внешний контур заземления* (здания) – замкнутый горизонтальный заземлитель, проложенный вокруг здания.

*Внутреннее устройство заземления* (здания) – совокупность заземляющих проводников, расположенных внутри здания.

*Выносной заземлитель* – заземлитель, выполненный за пределами территории энергообъекта.

*Вторичное оборудование* – аппаратура (устройства) релейной защиты и электроавтоматики, противоаварийной автоматики; автоматизированной системы управления технологическим процессом; автоматизированной системы диспетчерского управления; системы сбора и передачи информации; автоматизированной информационно-измерительной системы коммерческого учета электроэнергии; противопожарной системы; охранной сигнализации; видеонаблюдения; система оперативного постоянного тока; система собственных нужд напряжением 0,4кВ переменного тока; системы управления и сигнализации вспомогательного оборудования; система диагностики силового оборудования, контрольные кабели и т.п.

*Заземляющее устройство* – совокупность заземлителя и заземляющих проводников.

*Заземлитель* – проводящая часть или совокупность соединенных между собой проводящих частей, находящихся в электрическом контакте с землей непосредственно или через промежуточную проводящую среду.

*Заземляющий проводник* (РЕ – проводники) – проводник, предназначенный для целей электробезопасности.

*Зона нулевого потенциала* (относительная земля) – часть земли, находящаяся вне зоны влияния какого-либо заземлителя, электрический потенциал которой принимается равным нулю.

*Излучаемая электромагнитная помеха* – электромагнитная помеха, распространяющаяся в пространстве.

*Класс* (степень) жесткости – соответствующий уровень испытательного электромагнитного воздействия.

*Кондуктивная электромагнитная помеха* – электромагнитная помеха, распространяющаяся в проводнике.

*Молниеприемник* – часть молниеотвода, предназначенная для перехвата молнии.

*Магистраль заземления* – заземляющий проводник с двумя или более ответвлениями.

*Металлосвязь* – это показатель, характеризующий качество связи в цепи. Осуществляя измерение металлосвязи, замеряют сопротивление заземления на всех его участках.

*Напряжение прикосновения* – напряжение между двумя точками цепи тока замыкания на землю (на корпус) при одновременном прикосновении к ним человека.

*Разность потенциалов на заземляющем устройстве* – разность потенциалов, возникающая между различными точками заземляющего устройства при кратком замыкании на подстанции, вызванная продольными токами и сопротивлением проводников заземляющей системы.

*Разряд статического электричества* – импульсный перенос электрического заряда между телами с разными электростатическими потенциалами при непосредственном контакте или при сближении их на некоторое, достаточно малое расстояние.

*Показатель качества электрической энергии* – величина, характеризующая качество электрической энергии по одному или нескольким ее параметрам.

*Противофазная помеха* – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между фазным проводом и землей.

*Пульсации напряжения постоянного тока* – процесс периодического или случайного изменения постоянного напряжения относительно его среднего уровня в установившемся режиме работы источника, преобразователя электрической энергии или системы электроснабжения.

*Синфазная помеха* – электромагнитная (кондуктивная) помеха, возникающая между двумя фазными проводами.

*Сопротивление заземляющего устройства* – отношение напряжения на заземляющем устройстве к току, стекающему с заземлителя в землю.

*Ток замыкания на землю* – ток, стекающий в землю в месте замыкания.

*Токоотвод* – часть молниеотвода, предназначенная для отвода тока молнии от молниеприемника к заземлителю.

*Устойчивость к электромагнитной помехе, помехоустойчивость* – способность ТС сохранять заданное качество функционирования значениями воздействия на него внешних помех с регламентируемыми значениями параметров в отсутствие дополнительных средств защиты от помех, не относящихся к принципу действия или построения ТС.

*Уровень устойчивости к электромагнитной помехе, уровень помехоустойчивости* – максимальный уровень электромагнитной помехи конкретного вида, воздействующей на определенное ТС, при котором ТС сохраняет заданное качество функционирования.

*Электромагнитная совместимость технических средств (ЭМС ТС)* – способность ТС функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим ТС.



*Электромагнитная обстановка* – совокупность электромагнитных явлений, процессов в заданной области пространства, в частотном и временном диапазоне.

*Электромагнитная помеха* – электромагнитное явление, процесс, которые ухудшают или могут ухудшить качество функционирования ТС.

*Электромагнитное возмущение (воздействие)* – любое электромагнитное явление, которое может ухудшить работы прибора, оборудования или системы или неблагоприятно влиять на срок службы.

*Электромагнитное излучение от источника помех* – явление, процесс, при котором электромагнитная энергия излучается источником помехи в пространство в виде электромагнитных волн.

#### **4.1.6 Теоретические основы измерения сопротивления металлосвязи и напряжения прикосновения**

##### *4.1.6.1 Метод «амперметра-вольтметра» для определения напряжения прикосновения*

Метод амперметра вольтметра детально описан в СТО...105-2011 (методические указания по контролю составлению заземляющего устройства электроустановок).

Напряжение прикосновения в электроустановках напряжением 110кВ и выше измеряют при имитации КЗ на землю, а электроустановках 6-35кВ – при имитации двойного замыкания на землю.

По исполнительной схеме выбирают контрольные точки измерений (не менее 5 для каждого ЗУ) в местах наибольших значений сопротивления металлосвязи оборудования с ЗУ на рабочих местах и на остальном оборудовании.

Принципиальная схема измерений напряжения прикосновений представлена на рис. 1. В соответствии с ГОСТ 12.1.038-82 при измерении напряжения прикосновения в электроустановках напряжением 110кВ и выше сопротивление человека моделируется резистором  $R_{ч}$  1кОм. Сопротивление растеканию тока с ног человека должны моделироваться с помощью квадратной пластины  $25 \times 25 \text{ см}^2$ , которая располагается на поверхности земли (пола) на расстоянии 0,8-1 м от оборудования, в местах возможного нахождения человека.

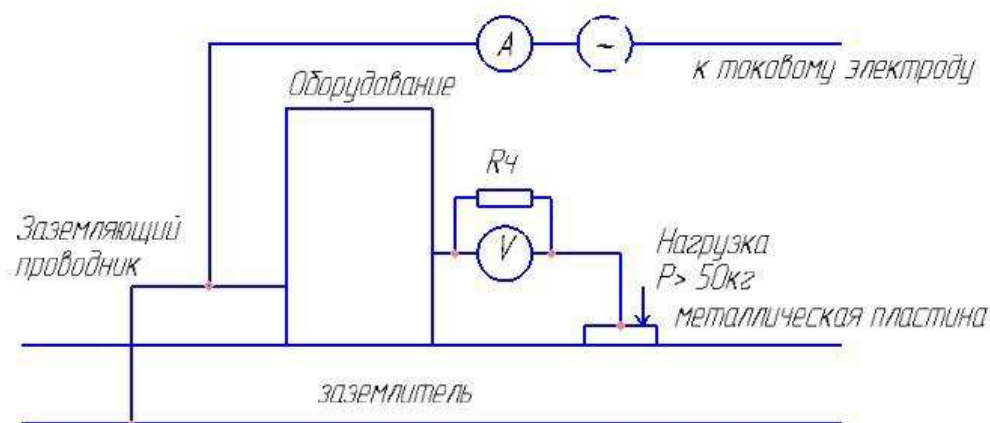


Рисунок 1 - схема измерения напряжения прикосновения.

Токовый электрод размещают таким образом, чтобы возможно точнее имитировать токовую цепь, возникающую при замыкании на землю. При измерении напряжения прикосновения на территории РУ напряжения 110кВ и выше, питание которого осуществляется от одной или нескольких ВЛ, токовый электрод переносят от края заземлителя не менее, чем на 2Д, где Д-максимальный размер заземлителя. Если подстанция располагается на застроенной территории, то для уменьшения наводки напряжения на токовую цепь рабочим током ВЛ токовый электрод переносится не менее, чем на 200м от подстанции и в сторону от питающих ВЛ примерно на 100м. Если измерения выполняют на РУ 110кВ с шин которого осуществляется питание нагрузки, а питание шин в свою очередь осуществляется от автотрансформаторов с высшим напряжением 220-1150кВ, токовый электрод следует присоединять с нейтралью питающего автотрансформатора.

Проводники токовой и потенциально цепи должны подключаться к заземленному оборудованию отдельными струбцинами при этом проводники токовой цепи присоединяют к заземляющему проводнику. Проводник потенциальной цепи может быть присоединен к этому же заземляющему проводнику или к любой точке металлоконструкции т.е. к месту возможного прикосновения.

При измерении на не рабочем месте токовый вывод прибора присоединяют к заземляющему проводнику корпусу ближайшему оборудованию по которому может протекать ток короткого замыкания.

Напряжения прикосновения определяют по выражению:

$$U_{\text{пр}} = I_3 \left( \frac{U_{\text{изм}}}{I_{\text{изм}}} \right) \quad (1.1)$$

Где  $I_3$  – значение тока замыкания на землю в месте измерения, а  $U_{\text{изм}}$  – нагрузка на резисторе 1кОм,  $I_{\text{изм}}$  – ток источника питания.

По результатам измерений рассчитывают напряжение прикосновения. При расчетах напряжения прикосновения с помощью компьютерной программы в качестве исходных данных принимают: исполнительную схему ЗУ; значения тока замыкания на землю; удельное сопротивление грунта. Результаты измерений напряжения прикосновения используют для тестирования расчетной модели.

Напряжения прикосновения рекомендуется измерять в следующих местах:

- в рабочих местах возле разъединителей, выключателей, трансформаторов тока и напряжения;
- у мест заземленных нейтралей трансформатором(в том числе ТСН), автотрансформаторов, шунтирующих реакторов, а так же у мест заземления в дугогасящих реакторов и резисторов;
- у калиток внутренних и внешних ограждений;
- у стоек конденсаторов связей;
- на входе в ОПУ и возле дизель-электрических установок.

Полученные значения напряжения прикосновения сравнивается с допустимой величиной, которая определяется по таблице:

Таблица 1 Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений при аварийном режиме электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000В, с глухим заземлением нейтрали.

Таблица 1 – Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений.

Продолжительность воздействия t,с	Предельно допустимый уровень напряжения прикосновения U,В
До 0,1	500
0,2	400
0,5	200
0,7	130
1,0	100
Св 1,0 до 5,0	65

Если напряжения прикосновения превышает допустимую величину необходимо принять меры по снижению напряжению прикосновению,

Для снижения величины напряжения прикосновения можно ограничить ток КЗ или увеличить сопротивление между рукой человека и грунтом. В первом случаи для ограничения тока КЗ необходимы дорогие технические решения такие как отказ от двухцепной ЛЭП или установка специальных ограничивающих устройств. Во втором случаи сопротивление между рукой человека и грунтом увеличивается за счёт использованием подсыпки из щебня. Толщейой не менее 15 см. Подсыпка и тело человека образует делитель, у которого сопротивление тела человека по отношению сопротивлению подсыпки меньше в 20-50 раз. При прочих равных условий напряжения прикосновения снизиться так-же 20-50 раз.

#### 4.1.6.2 Метод «амперметра-вольтметра» для определения сопротивления металlosвязи

Проверка целостности заземления оборудования должна быть выполнена для всего заземляемого оборудования. Измерения сопротивления металlosвязи производят четырехзажимным способом по методу (амперметра вольтметра) – организуют отдельную токовую и потенциальную цепи. При этом не допускается намотка проводников токовой и потенциальной цепи на одно катушку. Расстояние между токовой и потенциальной цепями при раскладке их по территории электроустановки должно быть более 1 м. Присоединения каждой цепи к точке измерения проводится отдельной струбиной

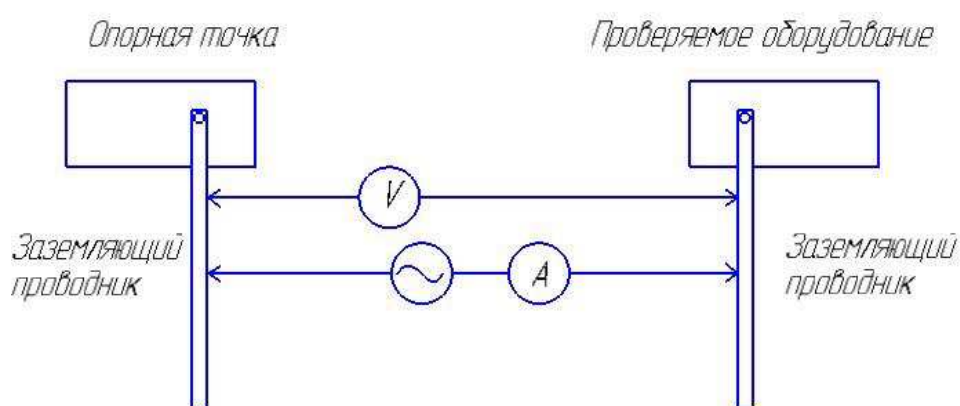


Рисунок 2 - Схема измерения сопротивления металlosвязи.

Проверку целостности заземления оборудования выполняют по схеме рис 2 путем измерения сопротивления металlosвязи между проверяемым оборудованием и некоторой опорной точкой (заземляющим проводником) ЗУ, имеющей металlosвязь с ЗУ электроустановки менее 0,05 Ом.

В качестве опорных точек в электроустановках 110кВ и выше выбирают точки заземления нейтралей силовых трансформаторов (автотрансформаторов) Т (АТ). При наличии двух или более Т (АТ) предварительно следует произвести измерения сопротивлений металlosвязи между точками заземления нейтрали этих Т (АТ). Если ОРУ и силовые Т (АТ) территориально разнесены на значительное расстояние за опорные точки ОРУ могут быть приняты заземляющие проводники, имеющие удовлетворительную металlosвязь с точкой заземления силовых Т (АТ).

В качестве опорных точек в электроустановках выше 1кВ с использованной нейтралью или электроустановкой 110кВ и выше без силовых Т (АТ) должны быть выбраны металлоконструкции, имеющие наибольшее количество заземляющих проводников и естественных

заземлителей (металлическое основание ОРУ), многостоечные металлические порталы и т.п.).

Качество заземления оборудования считается удовлетворительным, если измерения сопротивления не превышает :

$$R_{\text{мсв}} < \frac{2000}{I^1_{\text{кз}}} , \quad (1.2)$$

где  $I^1$  – ток однофазного КЗ на шинах РУ, А.

2000-допустимая разность потенциалов на заземляющем устройстве подстанций в аварийных режимах ,В.

Если условие (1.2) не выполняется принимаются меры по улучшению металлосвязи. Наиболее эффективным и дешёвым методом снижения сопротивления металосвязи является использование шины уравнивание потенциалов (ШУП).

ШУП представляет из себя стальную или медную полосу определенного сечения. ШУП прокладывается между точкой ЗУ с хорошим заземлением и оборудованием с которым имеется не удовлетворительная металлосвязь.

#### 4.1.7 Лабораторная работа

**«Определения напряжения прикосновения на подстанциях 110кВт и выше».**

**Цель работы:** получение практических навыков по определению напряжения прикосновения и изучению методов по эффективному снижению напряжения прикосновения.

**Перечень приборов:** Цифровой мультитестер ВЕЛ DT-9205M.

##### **Порядок выполнения работы**

1. Вариант лабораторной работы выдает преподаватель.
2. Перед началом выполнения работы, преподаватель выдает значения тока однофазного КЗ.
3. Для выполнения данной лабораторной работы с помощью красного, зеленого тумблера выбираем режим КЗ. Напряжение прикосновения определяем на корпусе каждого оборудования расположенного на территории ОРУ подстанции. Для этой цели используем ГПЧ, амперметр, вольтметр и сопротивление человека.

Согласно, нормативных документов для определения напряжения прикосновения сопротивление человека принимается равным 1 кОм. На стенде представлено условно-графическое изображение человека. Напряжение прикосновения определяем между рукой и ногой человека.

4. Собираем схему: ГПЧ включаем последовательно с амперметром, свободный зажим генератора промышленной частоты соединяем с заземленным корпусом Т1, второй зажим амперметра подключаем к заземленному корпусу выбранного оборудования. К данному оборудованию подключаем человека по схеме-«рука-нога». Рука к корпусу оборудования, нога к центральной точке заземляющего устройства. Подключаем вольтметр параллельно человеку по схеме-«рука-нога». Включаем амперметр и вольтметр. Выбираем следующие пределы по переменному току( $\sim$ ): амперметр 20А, вольтметр 20В. Включаем стенд и производим измерения, полученные результаты заносим в таблицу 1. Отключаем стенд.



Таблица 1 – Результаты измерений и расчетов напряжения прикосновения без использования подсыпки

№	Наименование объекта	$U_{\text{изм}}, \text{В}$	$I_{\text{имз}}, \text{А}$	$U_{\text{прик}}, \text{В}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

5. Переносим проводники, связывающего зажим амперметра и руку человека, на заземленный корпус следующего объекта(оборудования). Включаем стенд и производим измерения, результаты измерений заносим в таблицу 1. Отключаем стенд.

6.Выполняем аналогичные операции, прописанные в пункте 5, по отношению к остальному оборудованию, расположенному на подстанции.

7.Рассчитываем напряжение прикосновения с учетом реального тока однофазного КЗ по ниже следующей формуле:

$$U_{\text{прик}} = \frac{I_{\text{кз}}^{(1)}}{I_{\text{изм}}} * U_{\text{изм}} . \quad (1)$$

Принимаем ток КЗ согласно варианту, который выдаёт преподаватель.

8.Согласно времени существования режима КЗ, по таблице(2) выбираем значения допустимого напряжения прикосновения.

Таблица 2 – Предельно допустимые уровни напряжений прикосновений при аварийном режиме электроустановок с частотой тока 50 Гц, напряжением выше 1000В, с глухим заземлением нейтрали.

Продолжительность воздействия $t, \text{с}$	Предельно допустимый уровень напряжения прикосновения $U, \text{В}$
До 0,1	500
0,2	400
0,5	200
0,7	130
1,0	100
Св 1,0 до 5,0	65

Время существования КЗ, в зависимости от варианта, выбирает преподаватель. Сравниваем допустимое значение напряжения прикосновения с допустимой величиной. Сравниваем полученные значения с допустимой величиной и делаем вывод: в каких рабочих местах необходимо снизить напряжение прикосновения.

9. Одним из наиболее эффективных способов снижения напряжения прикосновения является подсыпки из щебня.

На стенде можно продемонстрировать данный эффект. Для этой цели переносим проводник с зажима ноги человека и в нижний слой подсыпки и соединяем данную точку с центральной точкой заземляющего устройства. Выполняем измерения в аналогичной последовательности, приведенной в п.4,5,6. При этом устанавливаем предел на вольтметре( $\sim$ ) 2 В. Данные заносим в таблицу(3). Отключаем стенд.

Таблица 3 – Результаты измерений и расчетов напряжения прикосновения с использованием подсыпки

№	Наименование объекта	$U_{\text{изм}}, \text{В}$	$I_{\text{изм}}, \text{А}$	$U_{\text{при}}, \text{В}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

10. Рассчитываем напряжение прикосновения по выше указанной формуле(1).

11. Анализируем полученные результаты и оформляем лабораторную работу согласно методических указаний.

### **Вопросы для самопроверки:**

1. Дать определение «напряжение прикосновения»
2. Какой метод используется для определения напряжение прикосновения?
3. В каких местах требуется производить измерения напряжения прикосновения?
4. Какие меры можно принять по снижению напряжение прикосновения, какой лучше и почему?
5. По какому выражению определяется напряжение прикосновения при использовании метода «амперметра-вольтметра»?
6. Что такое режим однофазного КЗ и в каких системах электроснабжения он возникает?
7. От каких параметров зависит допустимое напряжение прикосновения.?
8. Из какого материала может быть выполнена подсыпка и ее толщина?
9. Между какими точками тела человека рекомендуется измерять напряжение прикосновения?
- 10.Какая величина сопротивления тела человека принимается при определении напряжения прикосновения?

## 4.2 Возможные варианты выполнения лабораторной работы с исходными данными и полученными результатами

Разработанный стенд позволяет выполнить лабораторную работу «Определения напряжения прикосновения на подстанциях 110кВт и выше» в пяти основных вариантах. В каждом варианте изменяется ток КЗ ( $I_{кз}$ ), вследствие этого изменяются расчеты. Результаты вариантов с полученными данными для лабораторной работы приведены в таблицах 4.2, 4.3.

Таблица 4.2 - Варианты исходных данных без использования подсыпки и полученных результатов для лабораторной работы №2 «напряжения прикосновения»

№	Наименование объекта	$U_{изм}, В$	$I_{имз}, А$	$U_{прик}, В$ при $I_{кз}^{(1)}$				
				2500	2000	1420	1000	700
1	P2-1	2,85	2,04	3493	2794	1983,8	1397	977,9
2	B-1	3,11	2,52	3085	2468	1752,4	1234	863,9
3	P1-1	3,57	2,32	3847	3078	2185,08	1539	1077
4	ОПУ	3,60	2,29	3930	3144	2232,3	1572	1100
5	T-2	4,38	2,16	5069	4056	2879	2028	1419
6	P2-2	3,68	2,24	4107	3286	2332,8	1643	1150
7	B-2	3,42	2,28	3750	3000	2130	1500	1050
8	P1-2	4,61	2,16	4107	3286	3030,6	1643	1150

Таблица 4.3 - Варианты исходных данных с использования подсыпки и полученных результатов для лабораторной работы №2 «напряжения прикосновения»

№	Наименование объекта	$U_{изм}, В$	$I_{имз}, А$	$U_{прик}, В$ при $I_{кз}^{(1)}$				
				2500	2000	1420	1000	700
1	P2-1	2,97	0,02	16,835	13,468	9,5623	6,734	4,7138
2	B-1	2,58	0,06	58,14	46,512	33,023	23,256	16,279
3	P1-1	2,38	0,07	73,529	58,824	41,765	29,412	20,588
4	ОПУ	2,35	0,07	74,468	59,574	42,298	29,787	20,851
5	T-2	2,22	0,10	112,61	90,09	63,964	45,045	31,532
6	P2-2	2,30	0,08	86,957	69,565	49,391	34,783	24,348





## Глава 5 Выполнение условий безопасности жизнедеятельности при монтаже и наладке лабораторного стенда

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность – это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи:

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект;

2. Произвести полный детальный анализ опасностей формируемых в изучаемой деятельности;

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности не возможно.

### 5.1 Анализ вредных и опасных производственных факторов

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория №307.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ («Определение металосвязи и напряжение прикосновения»).

Таблица 5.1 – Вредные и опасные факторы

№ п / п	Рабочее место или операция технологического процесса	Оборудование	Опасный (вредный) фактор, единица измерения	Величина фактора	Норматив (безопасная величина) со ссылкой на ГОСТ, СНиП и т.п.
1	Аудитория №307	Лабораторный стенд	Напряжение	220В	50В РД153-34.0—3.150-00 п.10.4

### 5.2 Технические и организационные мероприятия по охране труда

Перед выполнением задания по выполнению лабораторной работы, студент должен пройти инструктаж по безопасному выполнению работы и

получить дополнительные указания от преподавателя.

Стенд представляет собой стол размером 1200x750мм. Всё оборудование размещено внутри стенда и на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать, не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд, имеет температуру окружающего воздуха  $+25^{\circ}\text{C}$ , при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения – естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

### **Электробезопасность.**

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 12В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты, при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъемного соединения на распределительном щитке в аудитории №309 а.

### **Правила безопасности перед выполнением работы.**

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматический выключатель должен быть выключен, индикаторная лампа не должна гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

### **Правила безопасности при выполнении работы.**

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на щитке рабочего места. Обо всех неисправностях,

эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

В случае прекращения опыта или перерыва в работе стенд надо обязательно отключить от сети.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- Выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и методичек;
- Оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- Включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и тумблеры.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

#### **Правила безопасности по окончании работы.**

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

#### **Действия в случае аварийной ситуации**

- немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- сообщить руководителю занятий

### **5.3 Мероприятия по производственной санитарии**

Помещение, в котором установлен стенд, имеет стены – побеленные в белый цвет. Пол – деревянный, способ уборки – влажной тряпкой.

Система отопления – централизованное, вид теплоносителя – горячая вода до 85<sup>0</sup>С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 4 штук по 7 рёбер.

На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 68,4 м<sup>2</sup>. Количество оконных проёмов – 4, размеры – 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛД-18. Количество светильников – 18 шт.,

количество ламп в светильнике – 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

Данное помещение имеет естественный воздухообмен.

Стенд расположен задней стенкой вплотную к стене здания.

#### **5.4 Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности**

Возможные источники взрывоопасности – отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01 или 112;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами; при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока;
2. Вызвать врача по телефону 03 или 112;
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца;
4. Обеспечить пострадавшему покой.

## Глава 6 Разработка сетевого графика

При написании дипломной работы требуется построение сетевой модели, позволяющей оценить вероятность её завершения в запланированные сроки. Учитывая большой объем работы при создании лаборатории и разработке вышеуказанного стенда «Определение металосвязинапряжения прикосновения», к выполнению дипломной работы приступили заблаговременно, с учетом того, что общий период не должен превышать 45 дней. Проведем расчет вероятностного сетевого графика.

### Составление сетевой модели

Для расчета сетевой модели составляем перечень необходимых работ.

Таблица 6.1 – Перечень необходимых работ

Наименование работы	Код работы	Продолжительность работ
Получение задания на работу	1-2	1
Работа с литературой	2-3	7
Обзор темы	2-4	5
Расчет и оформление дипломной работы	2-8	14
Теоретическое изучение влияния электромагнитных помех на функционирование МПУ	3-7	12
Разработка лаборатории по курсу электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях	4-5	10
Разработка схемы стенда	5-6	13
Разработка конструкции стенда, монтаж, наладка и апробация работы стенда	6-8	10
Разработка методического обеспечения по выполнению лабораторной работы	7-8	9
Рецензирование дипломной работы	8-9	5
Защита дипломной работы	9-10	1

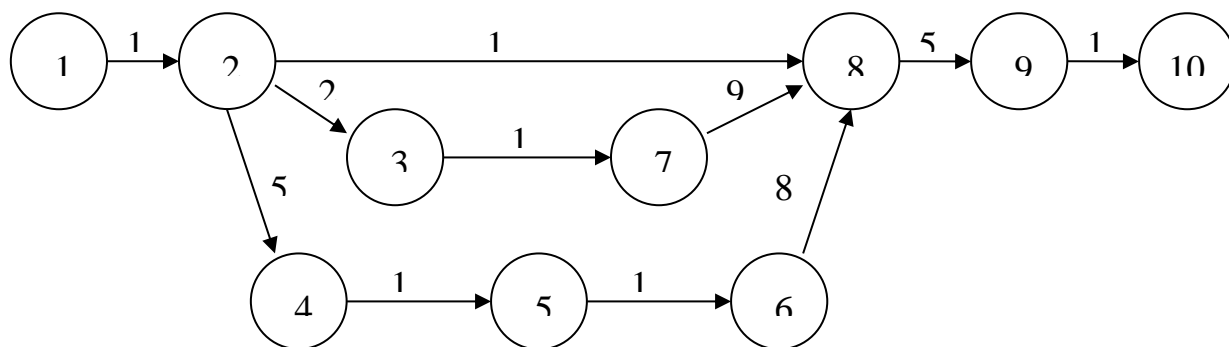


Рисунок 6.1 – Сетевой график выполнения дипломной работы

Рассчитываем параметры сетевого графика и сводим в таблицу 6.2

Таблица 6.2 – Расчет сетевого графика

Номер начального события предшествую щей работы	Ко д ра бо ты	Раннее начало работы	Раннее окончани е работы	Поздне е начало работы	Поздне е оконча -ние работы	Полны й резерв времен и	Свобод -ный резерв времен и
0	1-2	0	1	0	1	0	0
1	2-3	1	3	1	3	13	0
1	2-4	1	6	1	6	0	0
1	2-8	1	15	1	15	22	28
2	3-7	3	15	3	15	13	0
2	4-5	6	16	6	16	0	0
4	5-6	16	29	16	29	0	0
5	6-8	29	37	29	37	0	0
3	7-8	15	24	15	24	13	19
2;6;7	8-9	37	42	37	42	0	0
8	9- 10	42	43	42	43	0	0

На сетевом графике 3 пути. Путь 3 является критическим. Его продолжительность – 43 дня и он не имеет резерва пути, но по отношению к сроку выполнения работы резерв составляет 2 дня.

$L_1: 1-2-8-9-10$   $t_{L1} = 20$

$L_2: 1-2-3-7-8-9-10$   $t_{L2} = 30$

$L_3: 1-2-4-5-6-8-9-10$   $t_{кр} = t_{L3} = 43$

Работа 2-3:

Раннее начало работы:

$$t_{рн(23)} = \max t_{(ni)} = 1 \quad (6.1)$$

Раннее окончание работы:

$$t_{ро(23)} = t_{рн(23)} + t_{(23)} = 1 + 2 = 3 \quad (6.2)$$

Позднее окончание работы:

$$t_{по(23)} = \min t_{ni} = 3 \quad (6.3)$$

Позднее начало работы:

$$t_{пн(23)} = t_{по(23)} - t_{(23)} = 3 - 2 = 1 \quad (6.4)$$

Полный резерв времени:

$$R_{п(23)} = t_{кр(23)} - t_{р(2)} - t_{(23)} = 43 - 28 - 2 = 13 \quad (6.5)$$



Свободный резерв времени:

$$R_{c(23)} = t_{п(3)} - t_{р(2)} - t_{(23)} = 3 - 1 - 2 = 0 \quad (6.6)$$

## Заключение

Основные результаты работы изложены в следующих выводах:

1. Разработанная лаборатория, включающая в себя шесть стендов позволяет выполнить двенадцать лабораторных работ по курсу «Электромагнитная обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях»

2. Каждый стенд позволяет выполнять лабораторную работу в количестве вариантов от трёх до десяти. Варианты выполнения работ выдает преподаватель.

3. Компьютерное моделирование позволило разработать принципиальную схему стенда, на которой наглядно демонстрируются метод «амперметра-вольтметра» для оценки металлосвязи и напряжения прикосновения.

4. Компьютерное моделирование позволило оценить эффективность использования ШУП для снижения сопротивления и подсыпки для ограничения напряжения прикосновения.

5. Электрическая схема стенда полностью соответствует виртуальной схеме, полученной при моделировании, и позволяет выполнять по 5 вариантов для лабораторной работы по оценке сопротивления металлосвязи и напряжения прикосновения.

6. Апробация работы стенда позволяет разработать последовательность выполнения лабораторной работы, связанной как с измерениями, так и с расчетами сопротивлений металлосвязи и напряжений прикосновения.

7. В методическом обеспечении имеются введения, термины и определения теоретические основы, связанные с оценкой сопротивления металлосвязи и напряжения прикосновения, контрольные вопросы а также сводная таблица контрольных данных и полученных вариантов по выполнению каждого варианта лабораторных работ, что позволяет преподавателю оперативно оценивать качество полученных результатов студентами.

8. Разработанный стенд и методическое обеспечение полностью соответствует цели дипломной работы.

9. В лаборатории предусмотрено все условия для безопасного выполнения лабораторных работ с позиции безопасности жизнедеятельности человека.

10. Разработанный сетевой график позволил рассчитать время и силы для полноценного и качественного выполнения дипломной работы

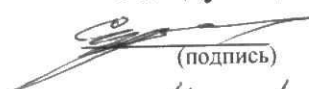
## **Список используемой литературы**

1. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.130.15.105-2011. Методические указания по контролю состояния заземляющих устройств электроустановок.
  2. Основы техники безопасности в электроустановках П.А Долин, Москва «Энергоатомиздат 1984»
  3. РД 34.45.51-300-97. Объем и нормы испытаний электрооборудования. Москва «Издательство НЦ ЭНАС» Под общ. ред. Б.А. Алексеева, Ф.Л. Когана, Л.Г. Мамиконянца
-

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ  
(институт)  
ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО  
ПРОИЗВОДСТВА  
(кафедра)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

  
(подпись)

С.В. Кузьмин  
(инициалы, фамилия)

«14» февр 2018г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.10 Электрификация и автоматизация горного производства

(код и наименование специализации)

«Разработка и внедрение лаборатории по курсу «Электромагнитная  
обстановка и электромагнитная совместимость на подстанциях».

Проектирование, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной  
работы «Определение напряжения прикосновения на подстанциях  
напряжением 110 кВ и выше»  
(тема)

Пояснительная записка


Руководитель

  
(подпись, дата)

К.Т.Н., доцент  
(должность, ученая степень)

С.В. Кузьмин  
(инициалы, фамилия)

Выпускник

 14.02.18  
(подпись, дата)

Д.К. Милёхин  
(инициалы, фамилия)